

**INFLUÊNCIA DO ADITIVO RETARDADOR DE PEGA NO ESTADO
FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO**

Daniel Henrique Storck

Lajeado, dezembro de 2018

Daniel Henrique Storck

INFLUÊNCIA DO ADITIVO RETARDADOR DE PEGA NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Marcelo F. Ferreira

Lajeado, dezembro de 2018.

Daniel Henrique Storck

INFLUÊNCIA DO ADITIVO RETARDADOR DE PEGA NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira - orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Ma. Carolina Becker Pôrto Fransozi
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Ma. Helena Batista Leon
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

No decorrer da graduação, muitos obstáculos tiveram de ser superados para que fosse possível alcançar a tão sonhada formatura, mas chegando ao final do curso ainda se fazia necessário o cumprimento da última etapa que consistia da realização do trabalho de conclusão de curso. Durante sua realização deparei-me com situações de difícil resolução, inúmeras dúvidas e problemas que achava que seriam impossíveis de resolver, nesses momentos busquei apoio com diversas pessoas das quais sempre se mostraram dispostas a me ajudar e incentivar.

Por isto gostaria de agradecer a minha família, por todo apoio que me deram nas horas difíceis, incentivos nos momentos de incertezas e pela compreensão nos momentos que não pude me fazer presente. Sou incapaz de expressar o quanto sou feliz por fazer parte desta família.

Agradeço a professora Mestra Débora por ter me orientado na elaboração deste trabalho com grande empenho, dedicação e estando sempre disposta a sanar minhas dúvidas com extrema competência.

Agradeço ao meu orientador, professor Mestre Marcelo por ter sanando minhas dúvidas e me auxiliado na realização deste trabalho.

Quero agradecer também ao meu amigo Rodrigo por ter sido tão prestativo e me auxiliado na realização dos ensaios.

E por final agradeço aos laboratoristas do LATEC, em especial ao Vianeir por estar sempre disposto em me auxiliar na realização dos ensaios.

RESUMO

Para produção de concretos em centrais dosadoras é necessário um grande controle em sua produção, sendo a propriedade que apresenta a maior dificuldade de controle é a perda de abatimento. Para contornar esta situação são adicionados ao concreto aditivos retardadores de pega, prolongando assim o estado plástico do concreto. Portanto, este estudo busca identificar a influência do aditivo retardador de pega no estado fresco e endurecido do concreto, analisando a influência de diferentes percentuais de aditivo a mistura. Inicialmente realizou-se a caracterização dos materiais utilizados no concreto, determinando a massa específica, massa unitária, granulometria, módulo de finura e absorção de água. A seguir determinou-se o traço referência por meio do método IPT e definiu-se mais três traços com variação no teor de aditivo nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50% da massa de cimento, analisando assim se ocorrem variações do traço referência para os traços aditivados nas propriedades de abatimento, resistência à compressão nas idades de 2, 7 e 28 dias, absorção de água, tempos de pega e calor de hidratação. Com os resultados obtidos verificou-se que no ensaio de perda de abatimento, o aditivo não conseguiu mantê-lo no decorrer do período, mas resultou em uma perda menos acentuada. No ensaio para determinação da curva de liberação de calor de hidratação do concreto constatou-se que o aditivo retardou o início da hidratação em todas as dosagens analisadas, sendo este tempo de retardo proporcional a dosagem utilizada. No ensaio para determinação dos tempos de pega verificou-se que o aditivo prolongou de forma significativa os tempos de pega do concreto, retardando de forma mais efetiva o início de pega. Nos ensaios de compressão axial e absorção de água verificou-se que o aditivo não influenciou nos resultados independente da dosagem. Com base nos resultados verificou-se que o aditivo nos percentuais analisados não causou prejuízos as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido, sendo que a dosagem que apresentou os melhores resultados foi de 0,35%, pois atendeu aos requisitos das normas técnicas, retardando a cura sem causar prejuízos as propriedades analisadas.

Palavras-chave: Concreto. Aditivo retardador de pega. Tempos de pega.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental.....	41
Figura 2 – Realização do ensaio de perda de abatimento	50
Figura 3 – (A) Termopares e (B) <i>FieldLogger</i>	51
Figura 4 – Fôrmas acondicionadas	52
Figura 5 – Sistema vedado.....	52
Figura 6 – Determinação da pasta de cimento de consistência normal	53
Figura 7 – Moldes armazenados na câmara úmida	54
Figura 8 – (A) Determinação dos tempos de início de pega e (B) fim de pega	54
Figura 9 – Ensaio de compressão axial	55
Figura 10 – Corpos de prova submetidos à fervura	56
Figura 11 – Imersão parcial dos CP's	56
Figura 12 – CP's rompidos por compressão diametral.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Calor de hidratação e concentração de cálcio em função do tempo	19
Gráfico 2 – Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento.....	23
Gráfico 3 – Curvas de fluxo de calor	23
Gráfico 4 – Calor de hidratação acumulado	24
Gráfico 5 – Classificação e composição dos aditivos modificadores de pega	26
Gráfico 6 – (a) formação dos produtos de hidratação; (b) influência da formação dos produtos de hidratação na resistência.....	29
Gráfico 7 – Influência da temperatura no tempo de início de pega com diferentes teores de aditivo retardador de pega.....	30
Gráfico 8 – Perda de abatimento de concretos com e sem aditivo a diferentes temperaturas	36
Gráfico 9 – Resistência à compressão axial de argamassas com diferentes dosagens de AC.....	38
Gráfico 10 – Curva granulométrica do agregado miúdo	43
Gráfico 11 – Curva granulométrica do agregado graúdo	44
Gráfico 12 – Resistência à compressão em função da idade dos traços IPT	47
Gráfico 13 – Diagrama de dosagem IPT	48
Gráfico 14 – Curva de liberação do calor de hidratação do concreto.....	59
Gráfico 15 – Linhas de tendência para o início e fim de pega.....	62
Gráfico 16 – Resistência à compressão em função da idade	63
Gráfico 17 – Resistência à compressão e desvio padrão	64
Gráfico 18 – Absorção de água e índice de vazios	67
Gráfico 19 – Massa específica dos traços.....	67
Gráfico 20 – Resultados do ensaio de absorção de água em 72 horas	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Liberação de calor, após 72 horas	21
Tabela 2 – Calor de hidratação dos compostos puros	22
Tabela 3 – Requisitos para o aditivo retardador de pega	28
Tabela 4 – Tempos de pega para o cimento C1	36
Tabela 5 – Tempos de pega para o cimento C2	37
Tabela 6 – Tempos de pega para o cimento C3	37
Tabela 7 – Tempos de pega do cimento CP V ARI com AC	37
Tabela 8 – Caracterização física do agregado miúdo	44
Tabela 9 – Caracterização física do agregado graúdo	45
Tabela 10 – Dados técnicos do aditivo	45
Tabela 11 – Traços unitários método IPT.	47
Tabela 12 – Resultados do ensaio de perda de abatimento do concreto	57
Tabela 13 – Resultados do ensaio de tempos de pega.	60
Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial	63
Tabela 15 – Análise de variância para 2 dias	64
Tabela 16 – Análise de variância para 7 dias	65
Tabela 17 – Análise de variância para 28 dias	65
Tabela 18 – Resultados do ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica	66
Tabela 19 – Análise de variância para absorção	68
Tabela 20 – Análise de variância para índice de vazios	68
Tabela 21 – Análise de variância para massa específica	68
Tabela 22 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	70
Tabela 23 – Análise de variância para absorção por capilaridade	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrometro
a/c	Água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Ácido cítrico
AP	Aditivo Acelerador de pega
AR	Aditivo Acelerador de resistência
ARI	Alta resistência inicial
C ₂ S	Silicato bicálcico
C ₃ A	Aluminato Cálcico
C ₃ S	Silicato tricálcico
C ₄ AF	Ferroaluminato tetracálcico
CH	Portlandita
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado

CP	Cimento Portland
C-S-H	silicato de cálcio hidratado
d	dias
g/cm ²	gramas por centímetro quadrado
h	horas
IA	Aditivo incorporador de ar
J/g	Joules por grama
ml	mililitro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
NBR	Norma brasileira
NM	Norma Mercosul
P	Aditivo plastificante
RP	Aditivo Retardador de pega
RS	Resistente a sulfatos
SP I	Aditivo plastificante tipo I
SP II	Aditivo plastificante tipo II

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivo geral	14
1.3 Objetivos específicos.....	14
1.4 Delimitação do trabalho.....	15
1.5 Estrutura do trabalho	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Compostos do cimento.....	16
2.1.1 Silicato tricálcico (C_3S)	17
2.1.2 Silicato bicálcico (C_2S).....	17
2.1.3 Aluminato Cálcico (C_3A)	18
2.1.4 Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF)	18
2.2 Hidratação do cimento Portland	19
2.3 Calor de hidratação	21
2.4 Aditivos	24
2.5 Aditivo retardador de pega.....	25
2.6 Mecanismo de ação do aditivo retardador de pega	27
2.7 Tempos de pega	28
2.8 Propriedades do concreto	31
2.8.1 Propriedades do concreto no estado fresco	31
2.8.1.1 Coesão e segregação.....	31
2.8.1.2 Exsudação	32
2.8.1.3 Trabalhabilidade	32
2.8.2 Propriedades do concreto no estado endurecido	33
2.8.2.1 Resistência mecânica	33
2.8.2.2 Permeabilidade	34
2.9 Influência do aditivo retardador de pega no concreto	35
2.9.1 Influência no abatimento do concreto.....	35
2.9.2 Influência nos tempos de pega	36
2.9.3 Influência na resistência à compressão.....	38
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	40
3.1 Materiais.....	41

3.1.1 Cimento Portland	42
3.1.2 Água de amassamento	42
3.1.3 Agregado miúdo	43
3.1.4 Agregado graúdo	44
3.1.5 Aditivo retardador de pega	45
3.2 Procedimento de dosagem.....	46
3.2.1 Definição do traço referência	46
3.2.2 Concretagem do traço referência e demais traços com aditivo	49
3.3 Ensaio no estado fresco do concreto.....	49
3.3.1 Perda de abatimento do concreto.....	50
3.3.2 Curva de liberação do calor de hidratação	50
3.3.3 Determinação dos tempos de pega	53
3.4 Ensaio no estado endurecido do concreto	54
3.4.1 Resistência à compressão axial	55
3.4.2 Absorção de água, massa específica e índice de vazios.....	55
3.4.3 Absorção de água por capilaridade.....	56
 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	 57
4.1 Perda de abatimento do concreto.....	57
4.2 Curva de liberação do calor de hidratação do concreto.....	58
4.3 Tempos de pega	60
4.4 Resistência à compressão axial	62
4.5 Absorção, massa específica e índice de vazios	66
4.6 Absorção de água por capilaridade.....	69
 5 CONCLUSÃO	 72
 REFERÊNCIAS.....	 75

1 INTRODUÇÃO

Conforme descrito por Figueiredo (2011), o concreto é o material estrutural mais utilizado no mundo, devendo-se este fato a uma série de características das quais destacam-se o baixo custo, capacidade de se adequar as condições de produção e permitir as mais variadas formas para as peças concretadas.

Para Gasparim (2007), com o desenvolvimento da engenharia e a necessidade de vencer novos desafios o concreto convencional produzido somente com cimento, areia, brita e água, necessitou receber adição de aditivos e novos materiais em sua matriz cimentícia. Segundo Petrucci (1998), a utilização de aditivos melhora ou confere propriedades especiais ao concreto, como diminuição do calor de hidratação, maior plasticidade, trabalhabilidade, diminuição da retração e aceleração ou retardo do tempo de pega.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), nos últimos 60 anos a indústria de aditivos tem apresentado um grande crescimento e atualmente 80 a 90% de todo concreto produzido em países desenvolvidos contém adições de aditivos. Sendo de suma importância que os engenheiros conheçam as vantagens e limitações dos aditivos utilizados.

Martins (2005) cita que no estado fresco do concreto a propriedade que apresenta a maior dificuldade de controle, é a perda de abatimento, intensificada no concreto dosado em central devido à etapa de transporte da central dosadora até o local de execução da obra, sendo esta realizada por meio de caminhões betoneiras. Dessa forma o transporte deve ocorrer no menor tempo possível, assim como o

lançamento, adensamento e acabamento, objetivando a diminuição dos efeitos do enrijecimento que podem em casos críticos tornar impossíveis as operações.

Após a adição de água na mistura, no decorrer dos primeiros 30 minutos, momento no qual iniciam-se as reações de hidratação do cimento, ocorre uma diminuição do abatimento. Entretanto esta perda de abatimento pode ser ainda mais acentuada em temperaturas elevadas. Sendo que a melhor maneira de diminuir a perda de abatimento, consiste na utilização de aditivos químicos, dentre os quais neste caso destacam-se os retardadores de pega (MARTINS, 2005).

Mas conforme descrito por Isaia (2011), aditivos não podem ser utilizados de forma indiscriminada, sendo que em certos casos seu efeito não é equivalente à dosagem, podendo ocorrer efeitos colaterais, como aceleração do tempo de pega e aumento da taxa de exsudação, resultando dessa forma em prejuízos ao concreto. Devendo sempre ser adotadas medidas para minimizar os erros de dosagem. Os aditivos dosados corretamente realçam as características do concreto, sendo que sua ação está vinculada ao tipo, quantidade de cimento e das características dos demais materiais utilizados no concreto. Portanto este estudo busca identificar a influência do aditivo retardador de pega no estado fresco e endurecido do concreto, analisando a influência de diferentes percentuais de aditivo a mistura.

1.1 Justificativa

Conforme descrito por Mehta e Monteiro (2014), os aditivos retardadores de pega são adicionados ao concreto para controlar seu tempo de pega em grandes concretagens e em climas quentes, permitindo dessa forma seu lançamento e adensamento, evitando assim a ocorrência de juntas frias.

Mas, para possibilitar estas aplicações, faz-se necessário um controle tecnológico do concreto, determinando a influência do aditivo retardador de pega nas propriedades do concreto, identificando os tempos de pega, que segundo Petrucci (1998) irão fornecer o tempo disponível para transporte, lançamento, adensamento e o momento de ser iniciada a cura do concreto. Pois conforme

descrito anteriormente por Isaia (2011), erros na dosagem de aditivos podem resultar em efeitos não desejados, prejudicando o concreto.

1.2 Objetivo geral

Avaliar a influência do aditivo retardador de pega no estado fresco e endurecido do concreto, considerando a relação a/c fixa e variando somente o teor de aditivo.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar diferentes dosagens do concreto com variação no percentual de aditivo retardador de pega;
- Verificar a perda de abatimento do concreto;
- Identificar os tempos de pega da pasta de cimento;
- Determinar a curva de liberação do calor de hidratação;
- Verificar se o aditivo interfere na resistência à compressão axial do concreto em diferentes idades;
- Verificar se o aditivo promove o aumento do índice de vazios do concreto, por meio do ensaio de absorção;
- Verificar se o aditivo resulta em variação nos resultados de absorção por capilaridade.

1.4 Delimitação do trabalho

Este estudo está delimitado à utilização de um único tipo de aditivo retardador de pega a base de ácidos policarboxílicos, o cimento utilizado para produção dos traços será o CP V ARI com agregados da região.

1.5 Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo deste estudo localiza-se a introdução, na qual é realizada uma apresentação sobre o tema do trabalho, a seguir é apresentada a justificativa, objetivos e delimitações que norteiam este estudo. No segundo capítulo encontra-se a referencial teórico, que fornece as bases bibliográficas para realização do trabalho, sendo abordado o concreto, sua composição, hidratação e o calor gerado durante este processo, a seguir é descrito o aditivo retardador de pega, sua composição, mecanismo de ação e influência nas propriedades do concreto. No terceiro capítulo estão descritos os ensaios, bem como os materiais utilizados para sua realização com suas respectivas normas técnicas. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos e no quinto capítulo encontra-se a conclusão deste estudo e sugestões para futuros trabalhos acerca do tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os conteúdos que realizam o embasamento deste estudo, sendo o foco da pesquisa a influência do aditivo retardador de pega em misturas de concreto, para isto serão utilizadas como base normas técnicas, livros e trabalhos acadêmicos acerca do tema. Será apresentado sua definição, os compostos do cimento, sua hidratação e o calor gerado durante este processo. Detalhando também o aditivo retardador de pega, seu mecanismo de funcionamento, os tempos de pega e sua influência nas propriedades do concreto.

2.1 Compostos do cimento

O cimento Portland é classificado como um aglomerante hidráulico adquirido pela moagem do clínquer no qual é adicionado sulfato de cálcio (genericamente chamado de gesso) com o intuito de controlar o endurecimento inicial do cimento. Dependendo do tipo de cimento produzido, podem ser adicionados demais materiais a mistura como escória de alto-forno, pozolanas e filler calcário (CENTURIONE, 1999).

Conforme descrito por Centurione (1999), o clínquer é o principal componente do cimento Portland, sendo este um material sinterizado e peletizado, derivado da calcinação da mistura de calcário e argila a uma temperatura de 1.450 °C. O clínquer é constituído de quatro componentes principais sendo estes o C_3S , C_2S ,

C₃A e C₄AF, que durante o processo de hidratação reagem na presença de água originando os produtos de hidratação que conferem ao concreto resistência e tenacidade. A seguir será descrita a influência de cada um desses componentes na hidratação do cimento.

2.1.1 Silicato tricálcico (C₃S)

O C₃S, também denominado de alita, é um dos principais constituintes do clínquer (40 a 70%), que apresenta-se sob um grande número de polimorfos, no entanto apresenta pequena variação na sua estrutura cristalina. A alita exerce significativa importância no endurecimento e na resistência mecânica do concreto (GOBBO, 2003).

Segundo Gobbo (2003), alita apresenta estrutura cristalina definida pela presença de tetraedros de SiO₄, podendo apresentar até 4% de impurezas, sendo que na sua forma pura contém 73,7% de CaO e 26,3% de SiO₂. No geral estes cristais apresentam uma seção hexagonal com dimensão média que varia de 25 a 65 µm.

2.1.2 Silicato bicálcico (C₂S)

Conforme Centurione (1999) o C₂S, denominado de belita, auxilia significativamente para o aumento de resistência mecânica do concreto, atuando particularmente em idades acima de 28 dias. Ocorrendo em uma proporção menor que a alita, em torno de 20% em massa.

A estrutura cristalina básica dos cristais de belita são tetraedros independentes de SiO₄ unidos por meio de íons de cálcio. Podendo apresentar de 4 a 6% de impurezas, que frequentemente são Al₂O₃ e Fe₂O₃. Os cristais de belita são normalmente arredondados e possuem dimensão média de 20 a 40 µm (GOBBO, 2003).

2.1.3 Aluminato Cálcico (C₃A)

Segundo Centurione (2003), o C₃A é o componente mineralógico do clínquer que possui a maior reatividade, este é responsável pela pega inicial do cimento e junto da alita apresenta significativa importância no ganho de resistência mecânica durante as primeiras idades (no máximo 24 horas após ter sido iniciada a hidratação do cimento).

Centurione (2003), cita que no decorrer do processo de resfriamento do clínquer que ocorre após o material ter passado pela zona de temperatura máxima do forno, ocorre a formação dos cristais de aluminato tricálcico. Sendo estes formados com o resfriamento e solidificação de uma parcela da fase fundida. O desenvolvimento dos cristais de C₃A está diretamente relacionado com a velocidade de resfriamento do clínquer, ou seja, quanto mais rápido for o resfriamento menos desenvolvidos serão os cristais. Conforme Gobbo (2003) o C₃A representa cerca de 0 a 10% do conteúdo do clínquer e possui uma estrutura cristalina normalmente cúbica.

2.1.4 Ferroaluminato tetracálcico (C₄AF)

Segundo Gobbo (2003), C₄AF, *brownmillerite* ou ferrita são denominações do Ferroaluminato tetracálcico, ocorrendo no clínquer com teores de 10 a 12%, destes 46,1% são de CaO, 21,0% de Al₂O₃ e 32,9% de Fe₂O₃, sendo que este composto apresenta baixa reatividade hidráulica.

Centurione (1999) cita que no ganho de resistência mecânica do cimento o C₄AF possui pouca participação, mas influencia diretamente na resistência à corrosão, devido à presença de ferro. Sendo este o responsável por fornecer a coloração acinzentada do cimento.

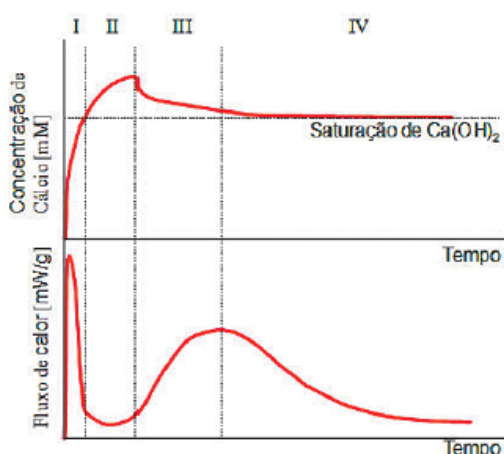
2.2 Hidratação do cimento Portland

Petrucci (1998), cita que o cimento Portland é formado por diversos compostos, dos quais as reações dão origem ao processo de endurecimento do concreto. Os compostos presentes no cimento Portland são anidros, mas quando reagem com a água dão origem a produtos hidratados. A hidratação consiste na transformação dos compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis.

Segundo Quarcioni (2008), o ganho de resistência mecânica da pasta de cimento tem origem no processo de hidratação, especialmente do C_3S e C_2S , resultando este processo em produtos de hidratação. Conforme Bicca (2000), os produtos da hidratação dos compostos do cimento são a portlandita (CH), cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e cristais de sulfoaluminato de cálcio, também denominados de etringita.

Isaia (2011), determina que o mecanismo de hidratação pode ser dividido em quatro períodos distintos, ilustrados pela curva de liberação de calor apresentada no Gráfico 1, obtida em um calorímetro isotérmico.

Gráfico 1 – Calor de hidratação e concentração de cálcio em função do tempo



Fonte: Isaia (2011, p. 139).

O primeiro período, definido como pré-indução, exibe um intenso pico de liberação de calor, com duração de poucos minutos, representando a inundação das

partículas, neutralizando as cargas elétricas e dando início a solubilização do silicato (ISAIA, 2011). Neste período ocorre ainda a dissolução das fases anidras C_3S , C_3A e C_4AF originando uma camada de gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que reveste a superfície dos grãos anidros do clínquer. Com a dissolução do C_3A e C_4AF , os íons liberados reagem com os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , originando um gel amorfo, rico em aluminato (QUARCIONI, 2008).

No segundo período, denominado de indução ou dormência, ocorre uma drástica diminuição do calor liberado indicando uma diminuição das reações, mas não atingindo o valor zero. Ocorre a deposição de uma camada de gel anidro de cimento, formando uma barreira entre as fases anidras e a solução aquosa. Sendo este gel originado da precipitação inicial da etringita. Este período possui duração aproximada de 30 minutos a 3 horas, finalizando no momento que a camada de gel depositada é destruída ou torna-se mais permeável à difusão iônica (QUARCIONI, 2008).

Isaia (2011, p. 391), cita que para o terceiro período existem vários mecanismos propostos, mas há um consenso que isto ocorra da seguinte forma:

[...] a rápida elevação da temperatura é controlada pela nucleação e crescimento do C-S-H e que, conseqüentemente, depende do número de pontos superficiais ativos de nucleação. Inicia-se no final do período de indução e se prolonga por algum tempo após o ponto máximo de liberação de calor; a solução está supersaturada em cálcio e a precipitação da portlandita é simultânea à do C-S-H. Como a dissolução nessa fase se dá na superfície de contato das partículas com a água, a taxa de hidratação e o fluxo de calor são diretamente proporcionais à área superficial específica total, válidos tanto para alita como para o cimento.

O quarto período de hidratação do C_3S é descrito por Isaia (2011, p. 391) deste modo:

Após o ponto máximo do pico de aceleração as partículas menores já se hidrataram, o C-S-H preencheu os espaços vazios, a água disponível para a hidratação diminuiu, e o seu contato com as partículas anidras é dificultada, iniciando-se o IV período, de desaceleração na velocidade. O que os estudos comprovam é que esse período não está associado ao mecanismo de difusão da solução através do C-S-H precipitado para dar continuidade à dissolução do anidro.

2.3 Calor de hidratação

As reações de hidratação do cimento são exotérmicas, provocando aquecimento durante o endurecimento da massa de concreto. Este fato pode resultar em graves problemas para concretagem de grandes volumes. Nas primeiras idades ocorre uma maior liberação de calor, expandindo a massa devido ao aquecimento, ao longo de todo volume (FUSCO, 2008).

Conforme Fusco (2008), a rigidez do concreto nesta fase é baixa, permitindo que a massa que se expande termicamente acomode-se. No momento em que o concreto endureceu, a geração de calor cessa e a massa inicia seu resfriamento de fora para dentro. As camadas externas apresentam um encurtamento térmico, que tende a ser inibido pelo núcleo aquecido. Podendo este estado provocar generalizada fissuração e rupturas nas camadas periféricas, aumentando a possibilidade de ataque ao concreto. Dessa forma o calor de hidratação impõe restrições à espessura das camadas e ao lançamento do concreto.

Neville (2016), descreve que o calor de hidratação consiste na quantia de calor medido em joules por grama (J/g) de cimento anidro liberada até a completa hidratação. A temperatura é um fator que influencia diretamente a hidratação, afetando sua velocidade de desenvolvimento, a Tabela 1 apresenta a liberação de calor em 72 horas para diferentes tipos de cimento a temperaturas distintas.

Tabela 1 – Liberação de calor, após 72 horas

	Calor de hidratação liberado a:			
	4 °C	24 °C	32 °C	41 °C
Tipo de cimento	J/g	J/g	J/g	J/g
CP I	154	285	309	335
CP III	221	348	357	390
CP IV	108	195	192	214

Fonte: Neville (2016, p. 38).

Na prática não interessa o calor total de hidratação, mas sua velocidade de desenvolvimento. Sendo que em um período maior, pode-se dissipar a mesma quantidade total de calor, o que resulta em uma elevação de temperatura menor. O

calor de hidratação é um valor formado pelos diferentes componentes do cimento, sendo assim um valor composto, a Tabela 2 apresenta os valores relativos de cada composto puro (NEVILLE, 2016).

Tabela 2 – Calor de hidratação dos compostos puros

Composto	Calor de Hidratação (J/g)
C_3S	502
C_2S	260
C_3A	867
C_4AF	419

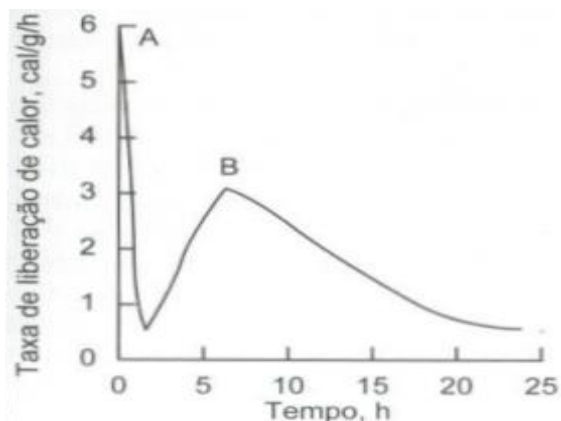
Fonte: Neville (2016, p. 39).

Conforme Neville (2016), devido às diferentes velocidades de hidratação dos compostos nos primeiros estágios de hidratação, a velocidade que ocorre a liberação de calor está relacionada com o teor de cada composto do cimento. Podendo-se concluir que reduzindo a proporção dos compostos C_3A e C_3S , os quais apresentam uma maior velocidade de hidratação, consegue-se diminuir a liberação de calor nas idades iniciais do concreto. A velocidade em que ocorre a liberação de calor também é influenciada pela finura do cimento, assim o aumento da finura acelera as reações de hidratação ampliando a liberação de calor.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), o Gráfico 2 apresenta uma curva característica obtida por meio de um calorímetro de condução, o qual analisou o desenvolvimento do calor de uma pasta de cimento durante a fase de pega e endurecimento inicial, sendo interpretados os dados obtidos da seguinte forma:

[...] Em geral, ao se misturar o cimento com água, uma rápida evolução de calor (porção ascendente do pico A) ocorre e dura alguns minutos. Isso, provavelmente, representa a hidratação da alita e o calor de dissolução de aluminatos e sulfatos. Essa evolução inicial de calor termina rapidamente (porção descendente do pico A) quando a solubilidade dos aluminatos é reduzida com a presença do sulfato na solução. O próximo ciclo da evolução de calor, que culmina no segundo pico após cerca de 4 a 8 h de hidratação para a maioria dos cimentos Portland, representa o calor de formação da etringita (porção ascendente do pico B). O período de evolução do calor inclui o calor de dissolução do C_3S e calor de formação do C-S-H. A pasta de um cimento devidamente retardado reterá mais de sua plasticidade antes do início desse ciclo de aquecimento e enrijecerá, apresentando a pega inicial (início da solidificação) antes de atingir o ápice em B, que corresponde à pega final (solidificação completa e início do endurecimento) [...] (MEHTA E MONTEIRO, 2014, p. 237).

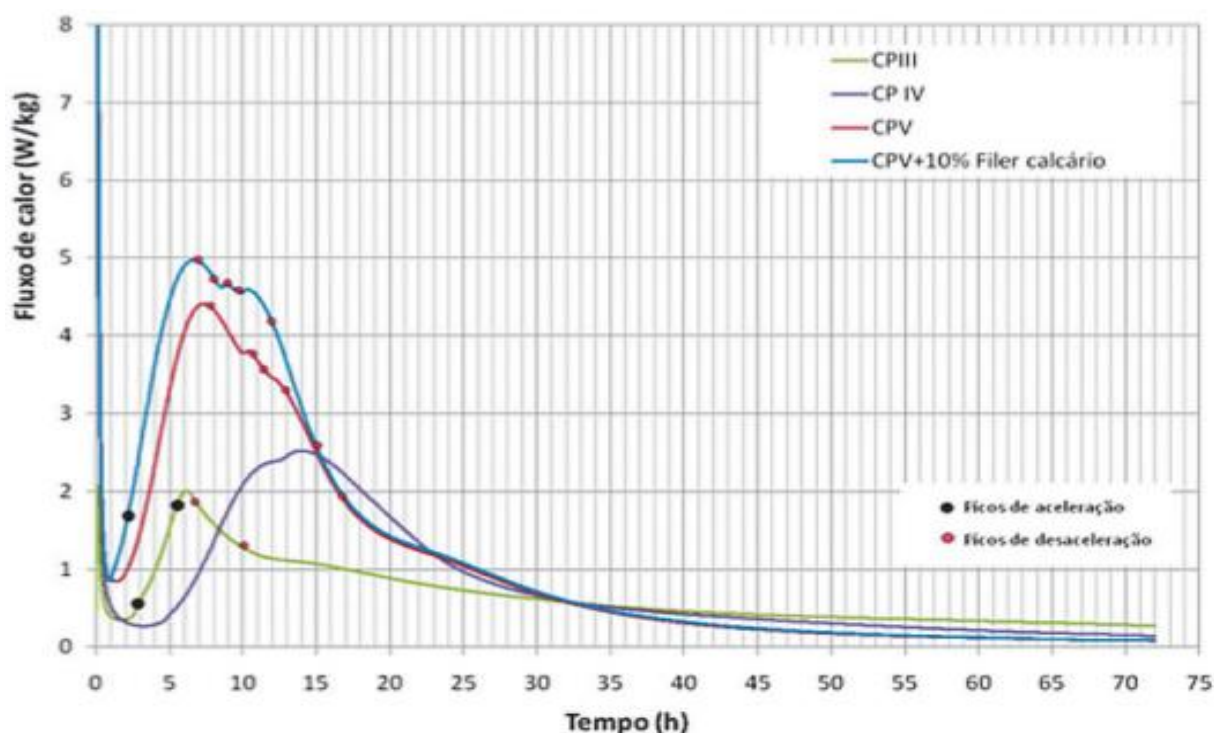
Gráfico 2 – Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento



Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p. 237).

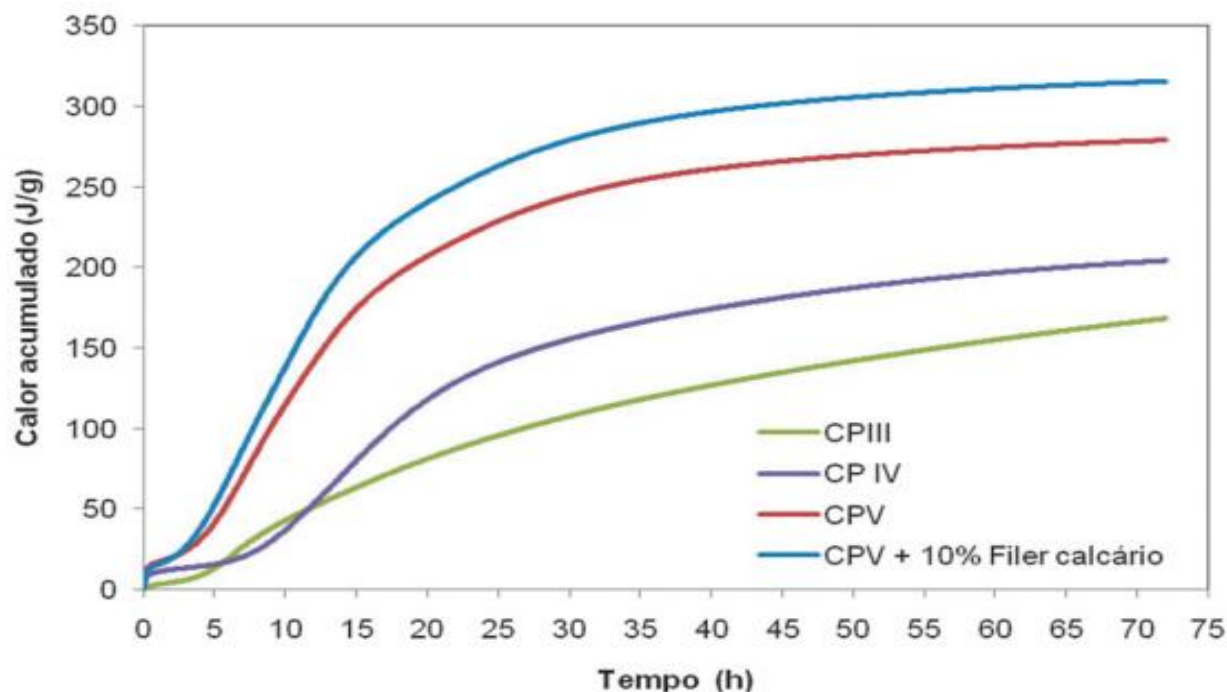
O Gráfico 3 apresenta o fluxo de calor obtido por meio de calorimetria isotérmica para diferentes tipos de cimento, onde destaca-se os dados obtidos para o cimento CP V, pois este será utilizado na realização dos ensaios deste trabalho. Este cimento apresenta um tempo de indução de 2 horas, o pico do fluxo de calor ocorre após 6 horas e entre 10 e 13 horas ocorre a formação da etringita. O Gráfico 4 apresenta o calor de hidratação acumulado durante 72 horas, no qual o CP V apresenta o segundo maior valor acumulado (ISAIA, 2011).

Gráfico 3 – Curvas de fluxo de calor



Fonte: Isaia (2011, p. 409).

Gráfico 4 – Calor de hidratação acumulado



Fonte: Isaia (2011, p. 409).

2.4 Aditivos

Conforme descrito pela NBR 11768 (ABNT, 2011), o aditivo é um produto adicionado durante a fase de preparação do concreto, com objetivo de alterar suas propriedades no estado fresco e/ou endurecido, melhorando seu desempenho. Podendo ser adicionado em quantidade não superior a 5% da massa de material cimentício. A seguir conforme classifica esta norma, serão descritos os tipos de aditivos de acordo com sua função:

- a) aditivo plastificante (P): Aditivo que possibilita diminuir a quantidade de água, sem que ocorram alterações na consistência do concreto no estado fresco. Desta forma, sem alterar a quantia de água, consegue-se modificar a consistência do concreto, aumentando seu abatimento e fluidez;
- b) aditivo superplastificante tipo I (SP-I): Aditivo que sem alterar a consistência do concreto, consegue elevada redução na quantidade de

água; ou seja, sem alterar o volume de água, aumenta o abatimento e fluidez do concreto;

- c) aditivo superplastificante tipo II (SP-II): Aditivo que permite uma elevadíssima redução da quantidade de água do concreto sem modificar sua consistência, aumentando consideravelmente o abatimento do concreto e sua fluidez;
- d) aditivo incorporador de ar (IA): Permite durante o amassamento do concreto a incorporação de uma pequena quantidade de bolhas de ar, distribuídas uniformemente, permanecendo após o endurecimento do concreto;
- e) aditivo acelerador de pega (AP): Aditivo que possui a função de acelerar a transição do estado fresco para o endurecido do concreto;
- f) aditivo acelerador de resistência (AR): Acelera o ganho de resistência inicial do concreto, podendo vir a modificar o tempo de pega;
- g) aditivo retardador de pega (RP): Aditivo que permite aumentar o tempo de transição do estado plástico para endurecido do concreto. Como a influência deste aditivo no concreto é o tema principal deste trabalho, este será amplamente discutido em itens a seguir.

2.5 Aditivo retardador de pega

Conforme Isaia (2011), os aditivos classificados nesta categoria atuam reduzindo a solubilidade dos compostos hidratados no cimento. Estes aditivos reagem com os compostos, precipitando sobre as partículas, formando uma camada de baixa permeabilidade em volta dos grãos, impossibilitando o desenvolvimento da hidratação por algum período.

Existem uma série de formulações e patentes desses produtos, tendo como compostos principais os sais de ácido lignossulfônico, ácidos hidroxicarboxílicos (glucônicos, tartárico, succínico, cítrico e heptônico) e carboidratos (sacarose, glicose, frutose e outros polissacarídios associados

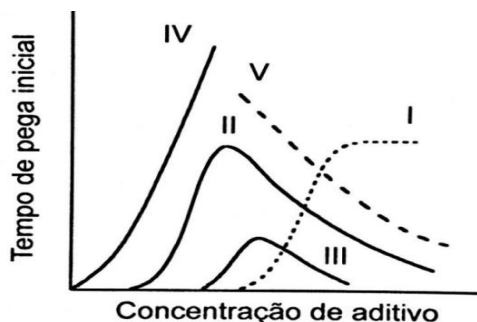
aos lignossulfonatos, tais como xilose e heptonose), dentre outros compostos orgânicos diversos. Compostos inorgânicos, como óxidos de Pb e Zn, fosfatos, sais de magnésio, fluoratos e boratos, são também utilizados (ISAIA, 2011, p. 366).

Isaia (2011) cita que o aditivo retardador geralmente é utilizado em uma dosagem sobre o material cimentício que varia de 0,1% a 0,5%, dependendo da aplicação. Mehta e Monteiro (2014) descrevem que alguns retardadores podem passar a agir como aceleradores do tempo de pega e ganho de resistência, quando utilizados em dosagens maiores.

Forsen (1983, apud MEHTA; MONTEIRO, 2014), dividiu os retardadores em grupos diferentes conforme a curva obtida quando confrontado graficamente o tempo de pega inicial e a concentração de retardador no sistema cimento-água. Uma versão da classificação de Forsen (1983) é apresentada no Gráfico 5, a qual abrange aceleradores e retardadores. As classes obtidas, bem como a composição das substâncias utilizadas é apresentada a seguir:

- a) classe I: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- b) classe II: CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$;
- c) classe III: K_2CO_3 , Na_2SiO_3 ;
- d) classe IV: (1) surfactantes com grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos (gluconatos, lignossulfatos e açúcares), (2) sais de sódios de ácidos fosfórico, bórico, oxálico ou hidrofúrico e (3) sais de zinco e chumbo;
- e) classe V: Sais de ácido fórmico e trietanolamina.

Gráfico 5 – Classificação e composição dos aditivos modificadores de pega



Fonte: Adaptado de Lea (1974, apud MEHTA, MONTEIRO, 2014, p. 323).

2.6 Mecanismo de ação do aditivo retardador de pega

Conforme Neville (2016), o mecanismo de ação dos aditivos retardadores não é bem determinado ainda. É possível que eles alterem o crescimento ou ainda a morfologia dos cristais, sendo absorvidos pela película de cimento hidratado que rapidamente foi formada. Dessa forma eles retardam o crescimento dos núcleos de hidróxido de cálcio, resultando em uma barreira mais eficiente, evitando a continuidade da hidratação.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), para compreender o mecanismo de retardo, considera-se uma pasta de cimento em processo de hidratação, constituída de cátions de cálcio e ânions de silicato e aluminato, sendo que a solubilidade depende da concentração e dos tipos de íons ácidos e básicos presentes na solução. Já que grande parte dos aditivos químicos se ioniza imediatamente com o contato na água, pode-se alterar o tipo e a quantidade dos constituintes iônicos na solução com a adição destes aditivos ao sistema cimento-água, interferindo assim na dissolução dos componentes do cimento.

[...] pode-se concluir que a consequência global da adição de um aditivo químico a um sistema cimento Portland-água será determinada por uma série de efeitos complementares e opostos, que dependem do tipo e da concentração de íons fornecidos pelo aditivo à solução. Quando usados em concentrações pequenas (por exemplo, 0,1 a 0,3% da massa do cimento), os sais de bases fracas e ácidos fortes (como CaCl_2) ou bases fortes e ácidos fracos (como K_2CO_3), o efeito retardador na solubilidade dos íons cálcio e aluminato do cimento é mais dominante do que a aceleração da solubilidade dos íons silicato; portanto o efeito global resultante é o retardo. Com concentrações maiores (1% ou mais) desses sais, o efeito acelerador dos íons da solução na solubilidade dos íons silicato e aluminato do cimento se torna mais dominante do que os efeitos retardadores. Assim, é possível o mesmo sal mudar o seu papel e se tornar um acelerador em vez de retardador [...] (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 237).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), os aditivos da Classe IV, conforme Gráfico 5 agem como poderosos retardadores, os surfactantes, como gluconatos e lignossulfonatos, atuam como retardadores por atrasarem a formação de ligações com os produtos da hidratação. Já outros podem atuar reduzindo a solubilidade dos constituintes anidro do cimento devido a formação de produtos insolúveis e impermeáveis ao redor das partículas. Os sais de sódio oriundos de ácido fosfórico, bórico, oxálico e hidrofluórico são solúveis, já os sais de cálcio são altamente

insolúveis, assim formam-se rapidamente ao redor das partículas de cimento em processo de hidratação. Quando formadas as camadas insolúveis e densas, diminui-se consideravelmente a velocidade de hidratação. Sendo que os fosfatos são utilizados normalmente como ingredientes em aditivos comerciais retardadores de pega.

2.7 Tempos de pega

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011) o aditivo retardador de pega deve atrasar o início da pega em ao menos 90 minutos e o final da pega deve ocorrer em no máximo 360 minutos, sendo estes tempos em relação ao traço referência, a Tabela 3 apresenta os requisitos a serem alcançados pelo aditivo retardador de pega.

Tabela 3 – Requisitos para o aditivo retardador de pega

Propriedade	Requisito
Tempo de pega	Início de pega: $\Delta t \geq 90$ min Fim de pega: $\Delta t \leq 360$ min
Resistência à compressão	Aos 28 d: Concreto em ensaio $\geq 100\%$ concreto de referência
Teor de ar no concreto fresco	Concreto em ensaio $\leq 2\%$, em volume acima do correspondente valor relativo ao concreto de referência, salvo indicação contrária do fabricante

Fonte: Adaptado de NBR 11768 (ABNT, 2011).

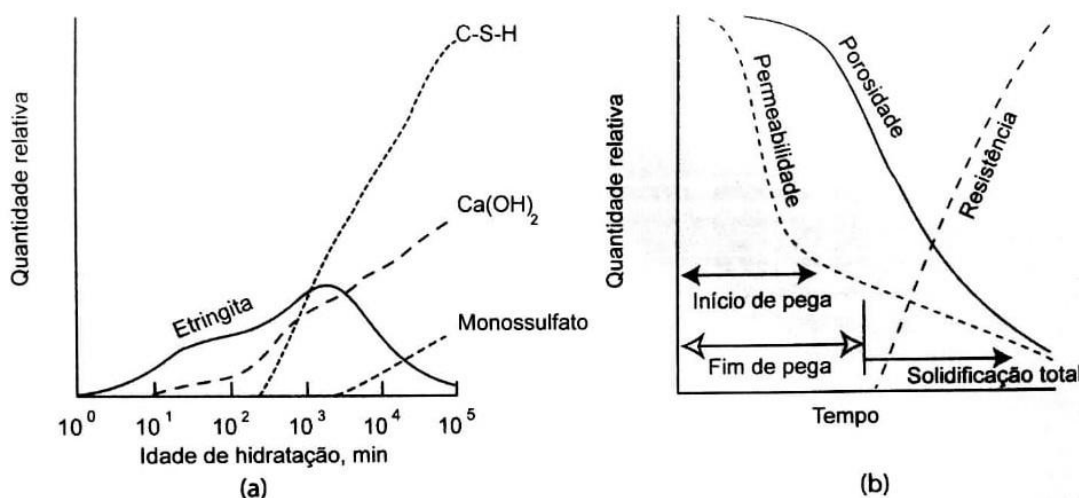
Segundo Petrucci (1998), o tempo de início de pega decorre desde o momento da adição de água na mistura até iniciarem-se as reações com os compostos do cimento, situação evidenciada pelo aumento súbito na temperatura e viscosidade da pasta. Já o final de pega convencionou-se como sendo o momento em que pequenas cargas não deformam mais a pasta, tornando-se esta um bloco rígido.

Petrucci (1998) destaca ainda que a partir da determinação dos tempos de pega obtém-se o tempo disponível para realizar o transporte, lançamento e adensamento do concreto e o momento no qual deve ser iniciada sua cura. Fusco

(2008), cita que para os cimentos nacionais, pode-se admitir um tempo de início de pega de 60 minutos, já para o fim de pega entre 5 e 10 horas.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), no final de pega, a pasta de cimento apresenta pouca ou nenhuma resistência, pois representa somente o início da hidratação do C_3S . Quando iniciada a hidratação do C_3S , as reações estendem-se por algumas semanas, ocorrendo uma redução da porosidade, permeabilidades e ganho de resistência, resultado do preenchimento dos espaços vazios na pasta com os produtos da reação. No Gráfico 6, é apresentada a relação que ocorre entre a química do processo de hidratação da pasta de cimento e os fenômenos físicos de enrijecimento, pega e endurecimento ilustrando a redução da porosidade e permeabilidade com o aumento da resistência.

Gráfico 6 – (a) formação dos produtos de hidratação; (b) influência da formação dos produtos de hidratação na resistência



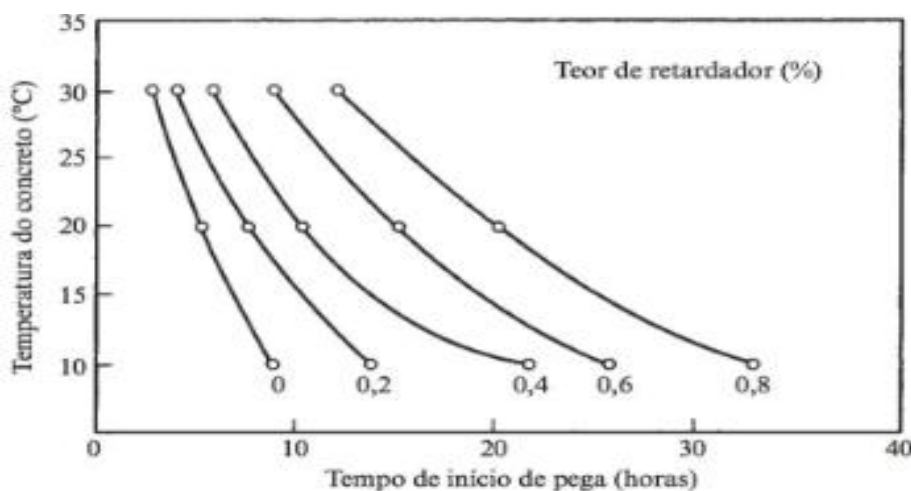
Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p. 239).

Conforme descrito pela NBR 16607 (ABNT, 2017), para determinação dos tempos de início e fim de pega, é utilizado o equipamento de Vicat. Sendo que o ensaio para determinar o tempo de início de pega consiste na realização de penetrações com a agulha de Vicat na pasta em um intervalo de tempo de 10 minutos entre cada penetração, sendo determinando o início de pega como o instante em que a distância entre a agulha e a placa base seja de 6 ± 2 mm. Já o fim de pega consiste no instante em que a agulha do equipamento penetra somente 0,5 mm e não causa marcas na pasta.

Neville (2016) destaca que a eficiência de um aditivo está relacionada com o momento que este é adicionado à mistura. Mesmo um atraso de 2 minutos, após a água ter reagido com o cimento aumentará o retardo da pega. A ampliação do retardo ocorre especialmente em cimentos que apresentem elevados teores de C_3A , pois quando parte do C_3A reage com o sulfato de cálcio, ele não absorverá o aditivo, restando assim mais aditivo para retardar a hidratação dos silicatos de cálcio, pelo fato de ocorrer à absorção nos núcleos de hidróxido de cálcio.

A utilização de aditivos retardadores é muito frequente em climas quentes, mas como pode ser observado no Gráfico 7, alguns retardadores perdem seu efeito em temperaturas mais elevadas. Estes aditivos podem aumentar a retração plástica, pelo fato de estenderem a duração do estado plástico, mas não afetam a retração por secagem (NEVILLE, 2016).

Gráfico 7 – Influência da temperatura no tempo de início de pega com diferentes teores de aditivo retardador de pega



Fonte: Neville (2016, p. 266).

Os tempos de pega do concreto são principalmente controlados pela composição do cimento, temperatura, relação a/c e aditivos. De forma geral quanto maior for a relação a/c, maior será seu tempo de pega. Já quando analisada a influência da temperatura no concreto, constatou-se que quando uma mistura preparada e armazenada a 10 °C ao invés de 23 °C, o tempo de início de pega é retardado em 4 horas e o fim de pega em 7 horas (MEHTA; MONTEIRO 2014).

2.8 Propriedades do concreto

Neste item serão descritas as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, sendo que no estado fresco detalha-se coesão, segregação e trabalhabilidade e no estado endurecido resistência mecânica e permeabilidade.

2.8.1 Propriedades do concreto no estado fresco

Conforme Neville (2016), o grau de adensamento influencia diretamente nas propriedades do concreto endurecido, tais como resistência, estabilidade de volume e durabilidade. Dessa forma é de vital importância que a consistência ou trabalhabilidade do concreto fresco sejam adequadas, permitindo o correto transporte, lançamento e adensamento, sem que ocorra segregação, o que pode vir a prejudicar o adensamento e consequentemente o concreto endurecido.

2.8.1.1 Coesão e segregação

Conforme Petrucci (1998), a trabalhabilidade do concreto fresco, possui significativa influência da coesão e está diretamente relacionada com a capacidade de manter a mistura homogênea. Sendo que a quantidade de finos na mistura e a granulometria dos agregados influenciam diretamente na coesão do concreto.

Segundo Bauer (2008), define-se segregação como a perda de uniformidade de uma mistura heterogênea, ocorrendo a separação dos componentes. A segregação é causada principalmente pela variação entre a dimensão das partículas e diferença entre a massa específica dos materiais, sendo assim necessário um controle dos componentes da mistura.

2.8.1.2 Exsudação

A exsudação é uma forma de segregação onde parte da água da mistura migra para a superfície do concreto recém lançado. Esse fenômeno é causado pela incapacidade dos materiais sólidos da mistura de reter a água de amassamento enquanto se assentam em direção ao fundo. No momento que a pasta apresenta enrijecimento suficiente, a exsudação cessa sua ocorrência (NEVILLE, 2016).

Conforme Neville (2016), a exsudação pode resultar em um excesso de água no topo da camada de concreto recém lançada, caso esta água seja aprisionada pelo concreto sobreposto, resultará em uma camada de concreto porosa, fraca e com baixa durabilidade.

2.8.1.3 Trabalhabilidade

Neville (2016), define trabalhabilidade como a quantidade de trabalho interno útil necessário para se obter o adensamento total. O trabalho interno útil representa a energia exigida para vencer o atrito interno entre as partículas do concreto.

O estado fresco do concreto também é descrito pelo termo de consistência, que representa a resistência da forma de uma substância ou facilidade com que flui. No concreto a consistência é adotada como medida do grau de umidade, pois em certos limites os concretos com maior quantidade de água são mais trabalháveis que os concretos secos. Entretanto, concretos que apresentam a mesma consistência podem vir a apresentar uma trabalhabilidade variada (NEVILLE, 2016).

Segundo Bauer (2008) outros fatores que influenciam a trabalhabilidade do concreto são o tempo e a temperatura. Sendo que o enrijecimento do concreto é afetado pela perda de trabalhabilidade ou pela perda de abatimento em função do tempo. Já em relação a temperatura, quanto mais elevada esta for, menor será a trabalhabilidade. Neville (2016), cita que a dimensão do agregado é outro fator que influencia na trabalhabilidade, no qual, quanto mais finas as partículas, maior será a

necessidade de água na mistura. A consistência do concreto pode ser determinada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998).

2.8.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

Para Bauer (2008), a partir da pega o concreto passa assumir as características de solidificação. Sendo que o processo de solidificação é constante e suas propriedades variam em função do tempo e devido as condições mecânicas, físicas químicas e ambientais. Até alcançar a cura estas condições alteram lentamente as propriedades finais do concreto, concedendo qualidades ou defeitos em sua estrutura.

Segundo Neville (2016), a resistência mecânica é a principal propriedade do concreto endurecido, sendo que está relacionada com a qualidade da mistura proveniente da pasta de cimento. Entretanto devem ser consideradas situações que exijam qualidades específicas ao concreto, tal como impermeabilidade.

2.8.2.1 Resistência mecânica

De acordo com Petrucci (1998) o concreto resiste muito mais aos esforços de compressão do que aos esforços de tração, cerca de dez vezes mais. Desta forma os materiais empregados na composição do concreto são dosados para resistir aos esforços de compressão. Sendo que em situações reais o concreto sofre todos os tipos de tensões (compressão, cisalhamento e tração) ao mesmo tempo e em várias direções. Para determinar a resistência à compressão é realizado um ensaio segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Conforme Bauer (2008), a porosidade é o principal fator que influencia na resistência do concreto. Para que ocorra a hidratação da pasta de concreto é necessária uma relação água/cimento maior ou igual a 0,36, cerca de 28% dessa

água permanece em estado livre na pasta e evapora a temperatura ambiente, deixando espaços vazios, promovendo então um aumento na porosidade do concreto. O grau de adensamento também pode vir a deixar ar aprisionado no concreto, caso ocorram falhas na compactação. A porosidade também é influenciada pela dimensão dos agregados e idade do concreto (quanto maior a idade, menor será a porosidade), sendo a medida da porosidade o total de vazios deixados na pasta.

2.8.2.2 Permeabilidade

Conforme Bauer (2008), o concreto é um material poroso, sendo os vazios presentes de origens diversas, podendo ser ocasionados pelo excesso de água adicionado a mistura para obtenção da trabalhabilidade, diminuição de volume absoluto por meio da hidratação dos constituintes do cimento e ar aprisionado durante o processo de mistura. Esses vazios são geralmente interligados, tornando assim o concreto permeável a líquidos e gases.

Bauer (2008) cita que a importância do entendimento do grau de permeabilidade do concreto não resulta apenas de sua utilização para construção de obras hidráulicas, mas também de casos onde a durabilidade do material poderá ser ameaçada pela ação de agentes agressivos tanto quanto por a permeabilidade do material.

Portanto a impermeabilidade do material aumenta com a redução da relação água/cimento, proporção dos finos presentes, cuidados na cura e camadas superficiais de proteção. Sendo a determinação da absorção de água e índices de vazios determinados pela NBR 9778 (ABNT, 2009) e absorção de água por capilaridade é determinada pela NBR 9779 (ABNT, 2012).

2.9 Influência do aditivo retardador de pega no concreto

Neste item será descrita a influência do aditivo retardador de pega nas propriedades do concreto, especificamente no abatimento, tempos de pega e resistência à compressão. Sendo analisadas estas propriedades, pois será possível comparar estes dados com os resultados que serão obtidos nos ensaios propostos no próximo capítulo.

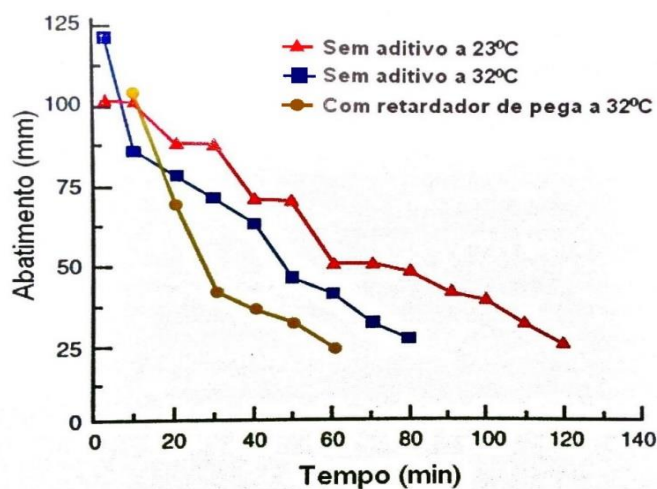
2.9.1 Influência no abatimento do concreto

O concreto com adição de aditivo retardador de pega apresenta uma taxa de exsudação mais elevada, ocorrendo também uma redução da resistência nas primeiras idades. Dessa forma devem ser realizados testes simulando as condições reais de utilização para verificação da qualidade e aceitação deste concreto aditivado na obra (ISAIA, 2011).

No Gráfico 8, é apresentada a perda de abatimento do concreto com adição de aditivo retardador de pega, sendo explicado este fato por Isaia (2011), da seguinte forma:

Quando utilizados na tentativa de reduzir a perda de abatimento e prolongar a trabalhabilidade, especialmente antes do lançamento do concreto em elevadas temperaturas, é possível que o efeito contrário ao pretendido ocorra, ou seja, a adição de um retardador pode resultar em um aumento da perda de abatimento [...]. Isso ocorre quando há uma carência de sulfatos no sistema para compensar a reação de hidratação dos aluminatos, especialmente em elevadas temperaturas, resultando em prejuízo à trabalhabilidade (ISAIA, 2011, p. 367).

Gráfico 8 – Perda de abatimento de concretos com e sem aditivo a diferentes temperaturas



Fonte: Isaia (2011, p. 367).

2.9.2 Influência nos tempos de pega

Muniz (2008), analisou a influência do aditivo retardador na pasta de cimento Portland, para mensurar a influência nos tempos de pega foram realizados ensaios com o aparelho de Vicat. Os ensaios foram realizados utilizando os cimentos CP III, CP V e CP II, respectivamente nomeados de C1, C2 e C3 e foram utilizados 2 tipos de aditivos, sendo que o primeiro possui como base química carboidratos isentos de cloretos e o segundo lignossulfonatos e sacarídeos, respectivamente denominados de R1 e R2, a dosagem de aditivo utilizado para cada tipo é de 0,2% para o R1 e 0,1% para o R2. Nas Tabelas 4, 5 e 6, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 4 – Tempos de pega para o cimento C1

Matriz	Tempos							
	1º ensaio		2º ensaio		3º ensaio		Média	
	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)
C1	04:00	05:00	04:15	05:10	04:10	05:10	04:10	05:00
C1 + R1	23:30	28:00	17:55	22:00	18:35	25:00	20:00	25:00
C1 + R2	> 35	Não observado	26:45	32:45	24:10	27:35	> 28:40	Não observado

Fonte: Adaptado de Muniz (2008).

Tabela 5 – Tempos de pega para o cimento C2

Matriz	Tempos							
	1º ensaio		2º ensaio		3º ensaio		Média	
	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)
C2	02:40	03:25	02:30	03:15	02:20	03:00	02:30	03:15
C2 + R1	06:55	07:15	06:45	08:15	07:00	07:45	06:55	07:45
C2 + R2	09:15	09:30	08:55	09:30	06:55	10:15	08:20	09:45

Fonte: Adaptado de Muniz (2008).

Tabela 6 – Tempos de pega para o cimento C3

Matriz	Tempos							
	1º ensaio		2º ensaio		3º ensaio		Média	
	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)	Início (h)	Fim (h)
C3	02:25	03:00	02:30	03:15	03:00	03:30	02:40	03:15
C3 + R1	05:40	06:30	05:20	08:45	05:35	07:20	05:30	07:30
C3 + R2	07:15	09:45	06:30	09:45	07:10	08:45	07:00	09:30

Fonte: Adaptado de Muniz (2008).

Muniz (2008), destaca que quando utilizado o cimento C1 e o aditivo R2 (TABELA 4), não foi possível determinar seu tempo de fim de pega, pois após 28 horas a pasta não demonstrava tendência de enrijecer. Muniz acredita que este fato deve-se a uma incompatibilidade entre os componentes.

Mendes et al. (2016) analisou a influência do ácido cítrico (AC) como retardador de pega em pastas de cimento Portland CP V ARI. No ensaio realizado para determinar os tempos de pega, este utilizou uma dosagem de 0,4% de ácido cítrico a mistura. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Tempos de pega do cimento CP V ARI com AC

Teor	Água de consistência normal (ml)	T _{início}	T _{final}
0%	165	02:34	03:34
0,40%	160	06:08	33:15

Fonte: Mendes et al. (2016, p. 1808).

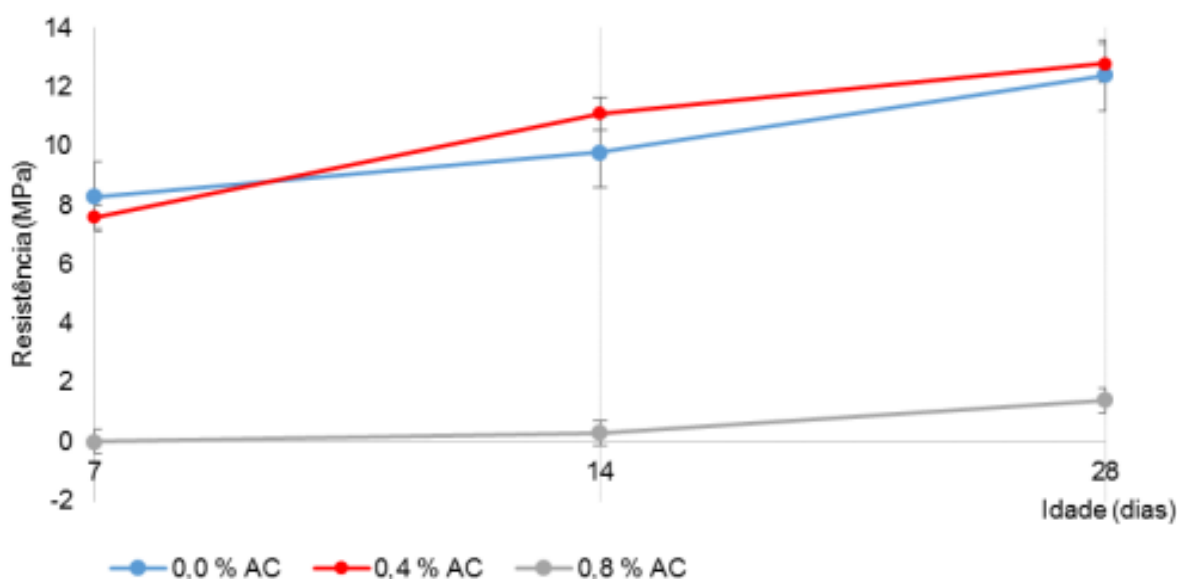
Mendes et al. (2016) relata que ao adicionar AC à pasta conseguiu prolongar os tempos de pega, sendo que o início de pega sem adição de AC ocorreu em 02:34 h, com a adição ocorreu em 06:08 h, já o final de pega foi prolongado de 03:34 h sem AC para 33:15 h com a adição do AC.

2.9.3 Influência na resistência à compressão

Conforme determinado pela NBR 11768 (ABNT, 2011) e apresentado na Tabela 3, concretos com adição de aditivo retardador de pega na mistura, devem alcançar 100% da resistência à compressão aos 28 dias, em relação ao concreto referência.

Mendes et al. (2016) também analisou a influência do ácido cítrico na resistência à compressão axial de argamassas de cimento Portland CP V ARI. Nos ensaios realizados foram utilizadas dosagens de 0,4% e 0,8% de ácido cítrico na mistura. O ensaio de compressão axial foi realizado com idades de 7, 14 e 28 dias, sendo que os resultados obtidos são apresentados no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Resistência à compressão axial de argamassas com diferentes dosagens de AC



Fonte: Mendes et al. (2016, p. 1809).

Conforme Mendes et al. (2016), com a adição de 0,4% de ácido cítrico, houve uma diminuição de 8,4% na resistência à compressão em relação ao traço sem AC na idade de 7 dias. Na idade de 14 dias a resistência da argamassa com adição de 0,4% foi superior à do traço sem adição, já na idade de 28 dias, a resistência à compressão é similar à do traço sem AC. Podendo este fato ser explicado, pois na idade de 28 dias o ácido cítrico presente nos poros já foi removido em decorrência da hidratação do cimento.

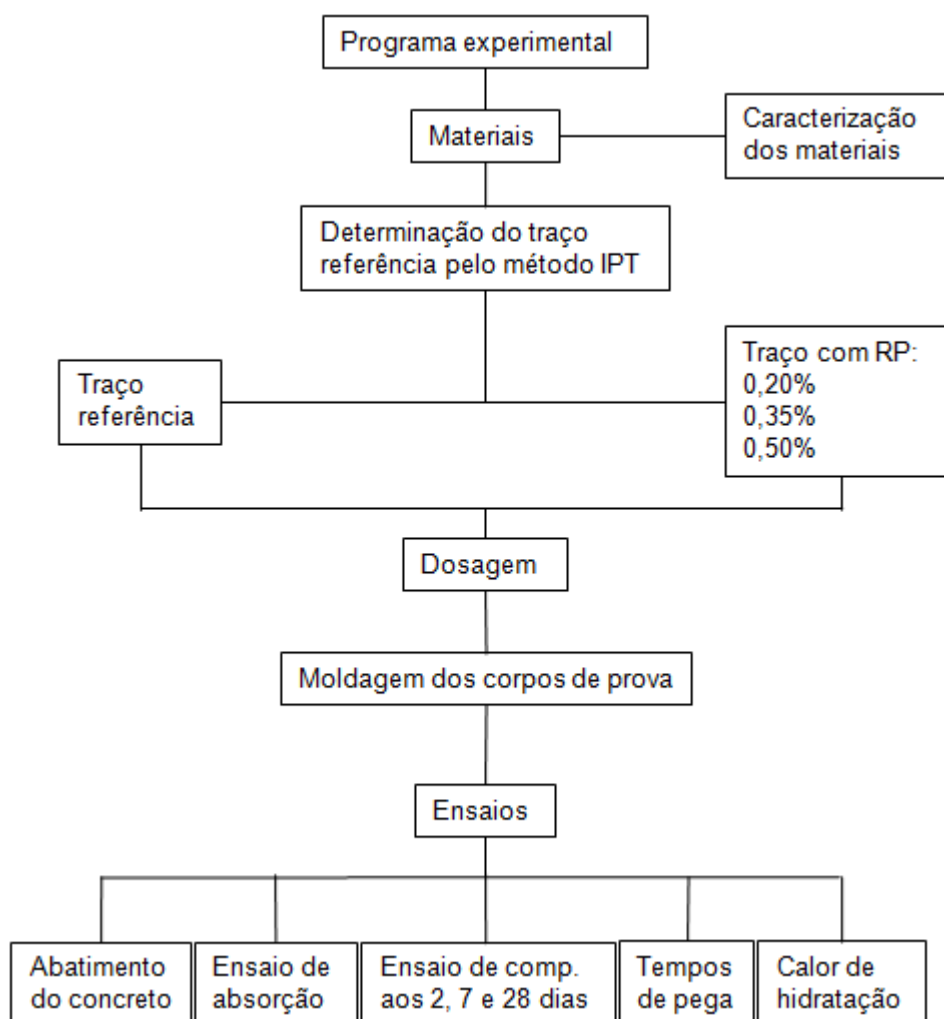
Mendes et al. (2016) relata que para o traço com adição de 0,8% de AC, nas idades de 7 e 14 dias, não se obteve resultados satisfatórios. Este percentual retardou demasiadamente a cura, e os corpos de prova encontravam-se ainda úmidos nas idades referidas. Na idade de 28 dias os corpos de prova apresentaram um melhor desempenho, alcançando um valor de resistência à compressão mensurável.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

De acordo com os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental que possibilitasse a análise de fatores que o uso de aditivos retardadores de pega promovem em misturas de concreto. Este capítulo aborda, portanto, o programa experimental estabelecido, expondo os materiais, equipamentos, procedimentos e normas técnicas adotadas.

Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com o Laboratório de Tecnologia da Construção da Universidade do Vale do Taquari - Univates (LATEC), localizado na cidade de Lajeado/RS. A Figura 1 apresenta o fluxograma para o programa experimental, detalhando as etapas de realização, desde a caracterização dos materiais aos ensaios propostos para obtenção dos resultados sobre a influência do aditivo retardador de pega no concreto.

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.1 Materiais

A seguir são descritos os materiais utilizados para realização dos ensaios, detalhando o tipo e sua composição, descrevendo a norma técnica utilizada e os valores obtidos nos ensaios de caracterização de cada material. Todos os materiais necessários para realização dos ensaios foram disponibilizados pelo LATEC.

3.1.1 Cimento Portland

Para realização dos ensaios utilizou-se o cimento Portland do tipo V de alta resistência inicial (CP V ARI), da marca Itambé. O fabricante destaca que este produto apresenta elevada resistência nas primeiras idades, sendo resistente a sulfatos, possuindo alto grau de finura e menor teor de fíler na sua composição.

Optou-se pelo cimento CP V ARI, pois este apresenta resultados de resistência mais elevados nas primeiras idades de cura e conforme Isaia (2011) no item 2.3 deste trabalho este tipo de cimento possui um elevado valor de calor acumulado durante 72 horas, assim esperou-se observar uma melhor variação nos resultados dos ensaios de tempos de pega e na determinação da curva de liberação do calor de hidratação do concreto. E como destacado pelo fabricante, este possui um alto grau de finura e segundo Neville (2016) um aumento no módulo de finura acelera as reações de hidratação, ampliando a liberação de calor, além deste possuir menores quantidades de adições quando comparado aos outros tipos de cimento.

Para sua caracterização, determinou-se sua massa específica, conforme especificado pela NBR 16605 (ABNT, 2017), no qual obteve-se o valor de 2.978 Kg/m³.

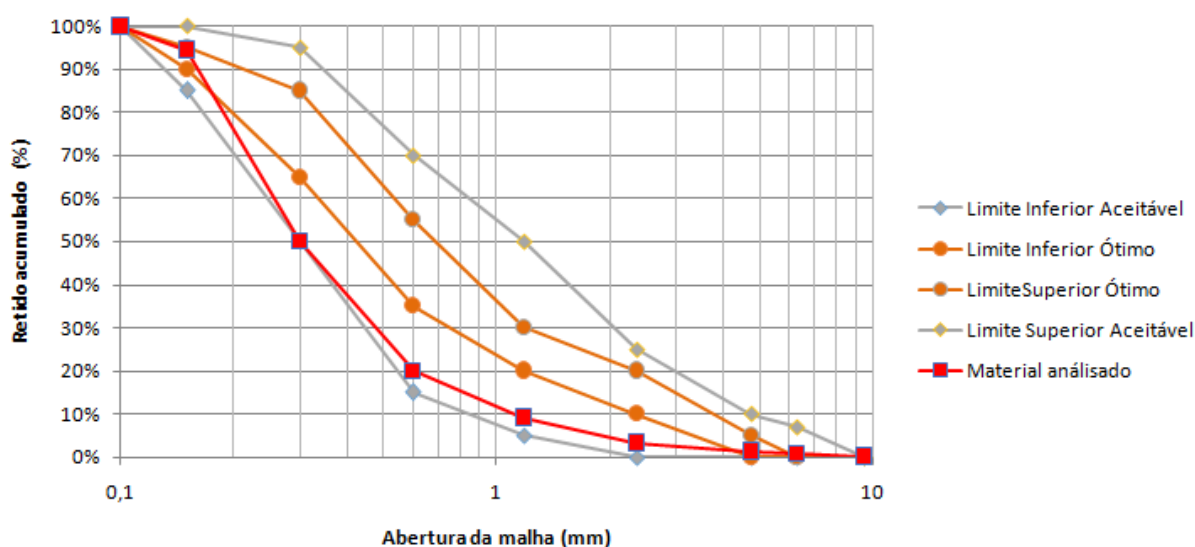
3.1.2 Água de amassamento

A água utilizada para realizar a mistura do concreto foi disponibilizada pelo Laboratório de Tecnologia da Construção, sendo esta oriunda da rede de abastecimento da CORSAN.

3.1.3 Agregado miúdo

Para execução dos traços utilizou-se areia média de origem quartzosa natural. Para sua caracterização determinou-se inicialmente sua distribuição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com base nos valores obtidos e os limites determinados na Tabela 2 da NBR 7211 (ABNT, 2009) desenvolveu-se o Gráfico 10 que apresenta a curva granulométrica do material analisado.

Gráfico 10 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

No Gráfico 10 pode-se observar que o material analisado encontra-se no limite da zona utilizável inferior. Com o ensaio de distribuição granulométrica também foi possível determinar o módulo de finura da areia no qual obteve-se o valor de 1,79, estando este valor dentro dos limites aceitáveis para zona utilizável inferior que segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) variam de 1,55 a 2,20.

Para caracterização da areia também foram realizados os ensaios de massa unitária conforme especificado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) e massa específica segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos nestes ensaios e os demais índices físicos do material.

Tabela 8 – Caracterização física do agregado miúdo

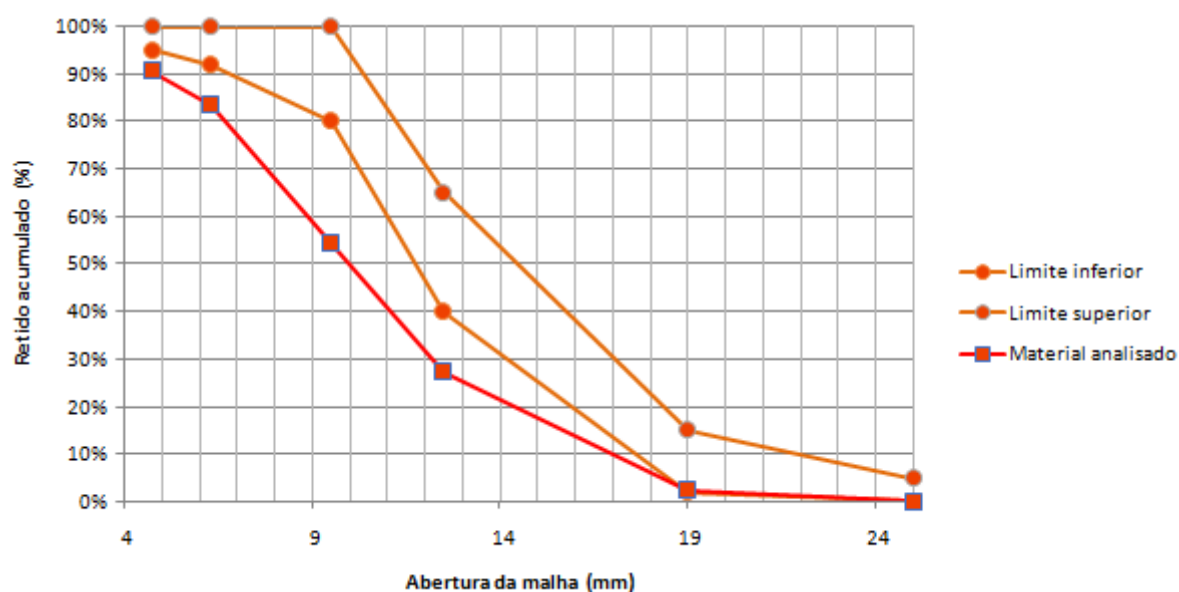
Massa unitária solta (Kg/m³)	1.528
Massa específica (Kg/m³)	2.639
Módulo de finura	1,79

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.1.4 Agregado graúdo

Para execução dos traços utilizou-se brita basáltica do tipo 1. Para sua caracterização determinou-se sua distribuição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com os resultados obtidos e os limites determinados na Tabela 6 da NBR 7211 (ABNT, 2009), desenvolveu-se o Gráfico 11 que apresenta a curva granulométrica do material analisado.

Gráfico 11 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Como pode ser analisado no Gráfico 11, o material disponibilizado pelo laboratório para realização dos ensaios encontra-se fora dos limites determinados pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Desta forma devido sua granulometria mais fina pode ocorrer uma maior necessidade de água para alcançar o abatimento desejado.

Para caracterização do agregado graúdo, segundo NBR NM 45 (ABNT, 2006), determinou-se a massa unitária no estado solto e compactado. A massa específica do agregado seco, massa específica saturada, massa específica aparente e absorção de água foram determinadas com base na NBR NM 53 (ABNT, 2009). Os resultados obtidos nestes ensaios são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Caracterização física do agregado graúdo

Massa unitária solta (Kg/m³)	1.441
Massa unitária compactada (Kg/m³)	1.579
Massa específica do agregado seco (Kg/m³)	2961
Massa específica saturada (Kg/m³)	2809
Massa específica aparente (Kg/m³)	2731
Absorção (%)	2,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.1.5 Aditivo retardador de pega

Na execução dos traços do concreto utilizou-se um aditivo retardador de pega a base de ácidos policarboxílicos da marca Rodoquímica. Segundo o fabricante este aditivo é recomendado para concretos usinados, produzidos em obra e concretos com características especiais. Sendo indicado para concretagem em clima quente e longas distâncias de transporte. Conforme destaca o fabricante a adição deste produto produz uma mistura plástica e coesa melhorando a trabalhabilidade e durabilidade do concreto.

O fabricante certifica que este produto atende aos requisitos da NBR 11768 (ABNT, 2011). A dosagem recomendada é de 0,20 a 0,60% sobre a massa do cimento. Na Tabela 10 são apresentados os dados técnicos do produto.

Tabela 10 – Dados técnicos do aditivo

Base química:	Mistura de ácidos policarboxílicos
Aspecto / Cor:	Líquido incolor
Densidade:	1,14 a 1,22 g/cm³
Valor do pH	7,0
Teor de cloretos	Não contém

Fonte: Fabricante Rodoquímica (2018, texto digital).

Com base nas recomendações de dosagem do fabricante e do disposto anteriormente por Isaia (2011) no item 2.5 deste trabalho, no qual descreve que a dosagem mínima recomendada é de 0,10% e a máxima de 0,50%, foram executados traços com adição de 0,20%, 0,35% e 0,50% de aditivo em relação a massa de cimento.

3.2 Procedimento de dosagem

A seguir são descritos os métodos e procedimentos utilizados para definição do traço referência deste estudo, assim como a execução das demais concretagens com traço referência e os traços com adição do aditivo retardador de pega nos percentuais determinados no item 3.1.5 deste trabalho.

3.2.1 Definição do traço referência

Para definição do traço referência para este estudo, utilizou-se o método IPT, o qual consiste em uma metodologia experimental, onde o traço referência é determinado a partir de três traços iniciais denominados de pobre, intermediário e rico.

Iniciou-se a execução do método IPT com um traço unitário intermediário de 1:5, a seguir adotou-se mais dois traços auxiliares denominados de pobre e rico, com traços unitários respectivamente de 1:6,5 e 1:3,5. O teor de argamassa determinado para todos os traços é de 55%. O abatimento adotado para realização dos ensaios é de 12 ± 2 cm, que segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015) é um concreto que possui consistência para ser utilizado em elementos estruturais, com lançamento convencional.

Em seguida procedeu-se na moldagem dos corpos de prova, sendo moldados três corpos de prova para cada idade, os quais foram ensaiados à compressão axial nas idades de 2, 7, 14 e 28 dias. Na Tabela 11 são apresentados os traços unitários

utilizados, relação a/c, massa específica do concreto e o consumo de cimento teórico de cada traço.

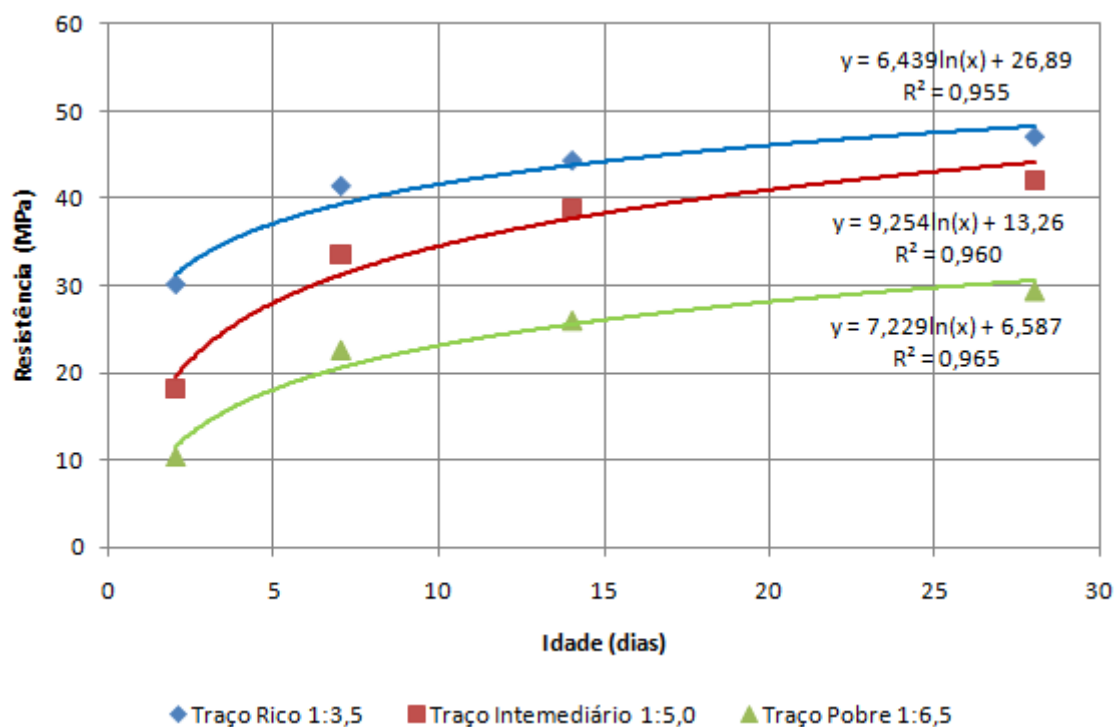
Tabela 11 – Traços unitários método IPT

Traço	Teor de argamassa	Traço unitário				a/c	Massa específica (Kg/m³)	CC - consumo de cimento teórico (Kg/m³)
		Cimento	Areia (a)	Brita (p)	m (a+p)			
Pobre - 1:6,5	55%	1,00	3,125	3,375	6,50	0,77	2.460	297,42
Intermediário - 1:5		1,00	2,30	2,70	5,00	0,63	2.428	366,10
Rico - 1:3,5		1,00	1,475	2,025	3,50	0,47	2.429	488,45

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

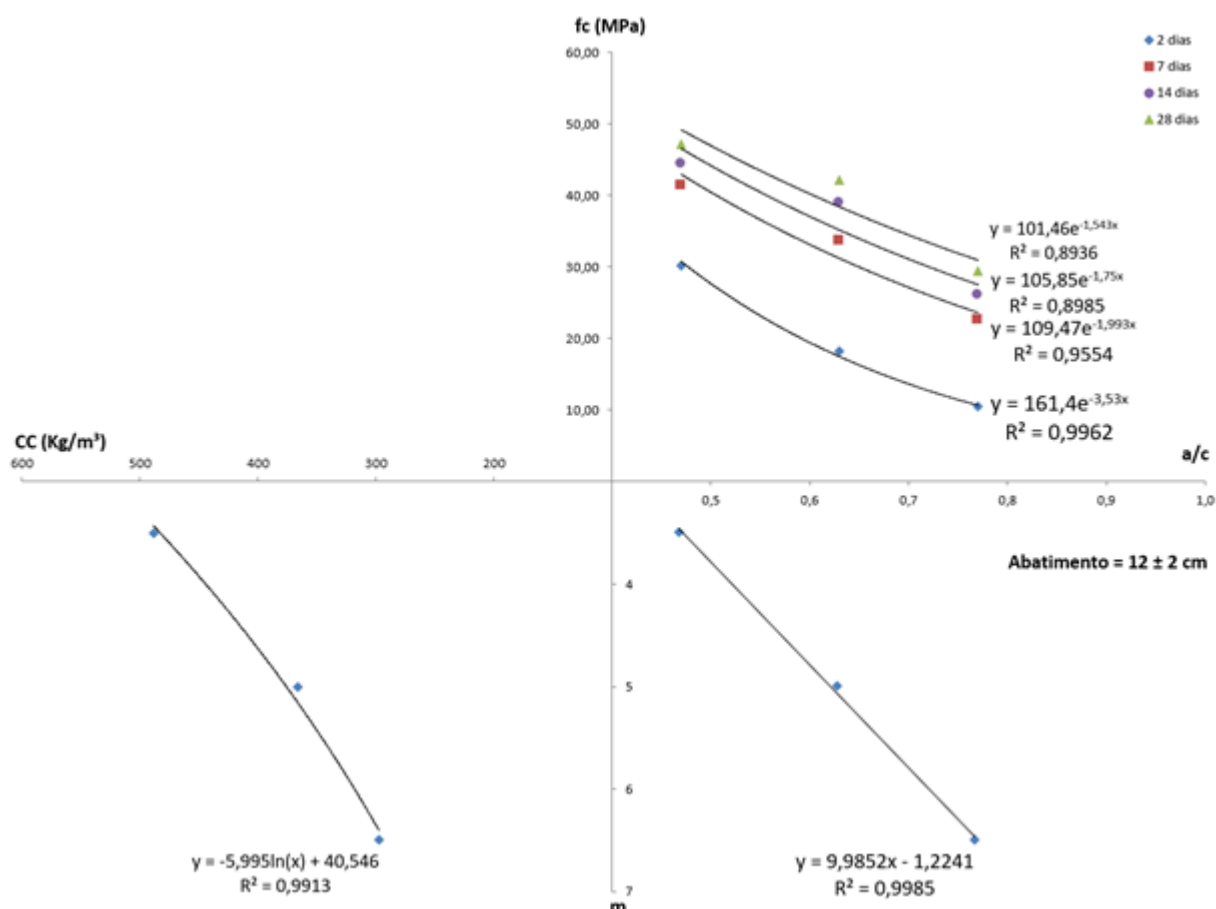
No Gráfico 12 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova. Com estes resultados, relação a/c, traço unitário e o consumo de cimento realizou-se uma correlação, resultando no diagrama de dosagem do Gráfico 13.

Gráfico 12 – Resistência à compressão em função da idade dos traços IPT



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Gráfico 13 – Diagrama de dosagem IPT



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para definição do traço referência, analisou-se o Gráfico 13, como o objetivo deste estudo é analisar a influência do aditivo retardador de pega no concreto e este segundo Mehta e Monteiro (2014), age inibindo a hidratação do cimento, optou-se em utilizar um traço com um consumo de cimento mais elevado, podendo desta forma verificar-se uma maior variação nos resultados dos ensaios, que no caso de um traço com um consumo de cimento menor poderiam acabar sendo muito discretas.

Portanto ao analisar os traços verificou-se que o traço intermediário apresenta um consumo de cimento de 366 Kg/m³, este mais elevado que o traço pobre que possui 297 Kg/m³ e quando comparado ao traço rico que possui 488 Kg/m³, observa-se que este possui um consumo de cimento de 122 Kg mais elevado, o que resultou em um aumento da resistência aos 28 dias de somente 5 MPa. Dessa forma como as resistências médias utilizadas na região variam de 25 a 30 MPa,

optou-se em utilizar o traço intermediário como referência, sendo este 1:2,3:2,7, pois este possui uma resistência aos 28 dias de 42 MPa, esta superior a utilizada nas obras da região, podendo assim ainda ser considerada uma margem de segurança e possuindo um consumo de cimento 366 Kg/m³, relação água/cimento de 0,63 e abatimento 12 ± 2 cm.

3.2.2 Concretagem do traço referência e demais traços com aditivo

Com a definição do traço referência pelo método IPT, foram executadas novas concretagens com o traço referências e os demais traços com variação no teor de aditivo retardador de pega nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50% da massa de cimento. Conforme determinações da NBR 5738 (ABNT, 2016), moldou-se corpos de prova com dimensões de 100 x 200 mm para realização dos ensaios no estado endurecido do concreto.

Foram moldados 5 corpos de prova por traço para cada idade, ensaiados à compressão axial conforme NBR 5739 (ABNT, 2018) nas idades de 2, 7 e 28 dias e mais 3 corpos de prova por traço para realização dos ensaios de absorção segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009) e NBR 9779 (ABNT, 2012). Portanto foram moldados 60 corpos de prova para os ensaios de compressão axial e mais 12 corpos de prova para os ensaios de absorção, totalizando 72 corpos de prova.

3.3 Ensaios no estado fresco do concreto

A seguir são descritos os ensaios realizados no estado fresco do concreto, determinando assim se o aditivo retardador de pega influencia nas características do concreto neste estado.

3.3.1 Perda de abatimento do concreto

No estado fresco do concreto foi realizado o ensaio para determinação da perda de abatimento do concreto conforme NBR 10342 (ABNT, 2012). O ensaio foi realizado para o traço referência e os demais traços com aditivo, sendo também adotado o abatimento de 12 ± 2 cm.

Optou-se em realizar o ensaio até o momento que segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto não possuísse mais trabalhabilidade suficiente para ser utilizado em elementos estruturais, sendo o limite para estas aplicações o valor de abatimento de 10 cm. Na Figura 2 pode-se observar a realização do ensaio.

Figura 2 – Realização do ensaio de perda de abatimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.3.2 Curva de liberação do calor de hidratação

Para determinação da curva de liberação do calor de hidratação, foi utilizado o método de ensaio desenvolvido por Righi (2015), que consiste na medição da

temperatura durante a fase inicial do processo de hidratação do cimento. Para realização do ensaio as misturas devem ser preparadas e acondicionadas em fôrmas com dimensões 30 x 12 x 5 cm, conectadas a termopares, posicionados no centro da fôrma. Após as fôrmas devem ser acondicionadas em caixas de isopor e vedadas com fita adesiva, visando que não ocorra interferência com o ambiente externo. No ensaio é utilizado um Módulo de Aquisição e Registro - *FieldLogger* conectado aos termopares, registrando dessa forma as temperaturas no *software FieldChart*.

Para realização do ensaio utilizou-se o traço referência e os demais traços com variação no teor de aditivo retardador de pega. Os termopares utilizados eram do tipo Pt100, os quais trabalham com uma faixa de temperatura de -200,0 °C a 530,0 °C, conectados ao módulo de aquisição e registro *FieldLogger*. Na Figura 3 (A) pode-se visualizar os termopares e (B) *FieldLogger*.

Figura 3 – (A) Termopares e (B) *FieldLogger*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com a realização da mistura dos materiais o concreto foi despejado nas fôrmas, após estas fôrmas foram acondicionadas nas caixas de isopor com os termopares posicionados no centro, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Fôrmas acondicionadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Após as fôrmas terem sido acondicionadas nas caixas de isopor estas foram vedadas visando a formação de um sistema adiabático como pode ser observado na Figura 5. O período adotado para realização das medições é de 72 horas, pois como pode-se observar no Gráfico 3 deste trabalho, durante este período ocorre o maior fluxo de calor do cimento. Além dos termopares posicionados nas fôrmas para medir o calor gerado pela hidratação do cimento, posicionou-se um termopar para registrar a temperatura ambiente e verificar se esta influencia nas temperaturas do sistema.

Figura 5 – Sistema vedado



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.3.3 Determinação dos tempos de pega

Para identificação dos tempos de pega, inicialmente determinou-se o percentual de água necessário para obtenção da pasta de cimento de consistência normal, conforme especificado pela NBR 16606, (ABNT 2017), no qual foi obtido o valor de 30% de água. Na Figura 6 pode-se observar a realização deste ensaio.

Figura 6 – Determinação da pasta de cimento de consistência normal



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

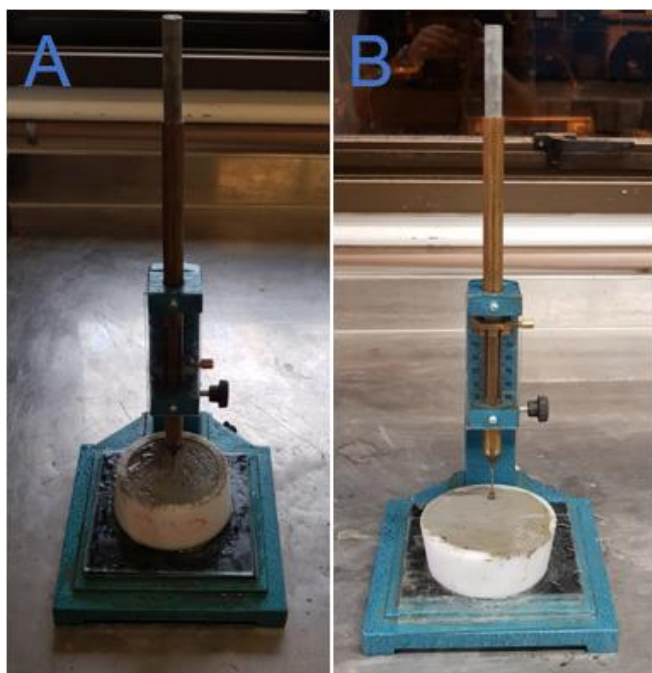
Com a identificação do teor de água necessário para obtenção da pasta de cimento de consistência normal, realizou-se o ensaio de determinação dos tempos de pega segundo a NBR 16607 (ABNT, 2017). Realizou-se o ensaio para determinação dos tempos de pega para a pasta sem aditivo e para a pasta com variações no teor de aditivo nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50%, sendo que entre cada medição os moldes eram armazenados na câmara úmida, como pode ser observado na Figura 7. A Figura 8 (A) apresenta a realização do ensaio para obtenção do tempo de início de pega e (B) a determinação do tempo de fim de pega.

Figura 7 – Moldes armazenados na câmara úmida



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 8 – (A) Determinação dos tempos de início de pega e (B) fim de pega



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.4 Ensaios no estado endurecido do concreto

A seguir são descritos os ensaios realizados no estado endurecido do concreto, determinando assim se o aditivo retardador de pega influencia nas características do concreto neste estado.

3.4.1 Resistência à compressão axial

Conforme descrito no item 3.2.2 deste trabalho para realização dos ensaios de compressão axial foram moldados 15 CP's por traço segundo a NBR 5738 (ABNT, 2016), sendo estes ensaiados nas idades de 2, 7 e 28 dias de cura. Após a moldagem os corpos de prova foram curados em câmara úmida e realizou-se o ensaio de compressão axial conforme especificado pela NBR 5739 (ABNT, 2018) nas idades determinadas. Na Figura 9 pode-se visualizar a realização deste ensaio.

Figura 9 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.4.2 Absorção de água, massa específica e índice de vazios

Realizou-se o ensaio de absorção de água, massa específica e índice de vazios, conforme especificado pela NBR 9778 (ABNT, 2009). O ensaio foi realizado na idade de 28 dias, foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço, sendo realizado para o traço referência e os demais traços com variação no teor de aditivo.

Na Figura 10, pode-se observar uma das etapas de realização do ensaio, na qual os corpos de prova foram submetidos à fervura pelo período de 5 horas.

Figura 10 – Corpos de prova submetidos à fervura



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.4.3 Absorção de água por capilaridade

Realizou-se também o ensaio de absorção de água por capilaridade conforme especificado pela NBR 9779 (ABNT, 2012), sendo este realizado na idade de 28 dias para o traço referência e os traços com adição de aditivo retardador de pega. Com a realização deste ensaio também pode-se verificar se houve ascensão capilar interna nos corpos de prova. A Figura 11 apresenta os corpos de prova imersos parcialmente em água.

Figura 11 – Imersão parcial dos CP's



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios descritos no capítulo 3, referente ao programa experimental. Sendo realizado um comparativo com os resultados identificados em referências bibliográficas e os resultados obtidos por este estudo, verificando dessa forma se existe uma correspondência entre estes resultados.

4.1 Perda de abatimento do concreto

Com a realização do ensaio de perda de abatimento obteve-se os dados da Tabela 12, na qual são apresentados os resultados de abatimento obtidos no momento da moldagem dos CP's, após 30 e 60 minutos, sua variação em milímetros e percentual no decorrer dos 60 minutos.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de perda de abatimento do concreto

Traço	Abatimento (mm)			Variação após 60 min. (mm)	Variação após 60 min. (%)
	0 min	30 min	60 min		
Referência	130	100	50	80	62%
0,20%	120	100	50	70	58%
0,35%	130	110	90	40	31%
0,50%	120	100	80	40	33%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Através da Tabela 12, observa-se que no momento da moldagem (0 minutos), o abatimento obtido para os traços variou entre 120 e 130 mm, após 30 minutos verifica-se que o traço sem aditivo apresentou uma redução no abatimento de 30 mm, enquanto que os traços aditivados resultaram em uma variação de 20 mm. O traço referência e 0,20%, transcorridos os 60 minutos e comparados com o abatimento aos 30 minutos, apresentaram uma variação de 50 mm, resultando no abatimento final do período para ambos os traços de 50 mm, já os traços com teores de 0,35% e 0,50% apresentaram uma menor perda de abatimento, variando 20 mm, sendo alcançado o abatimento no final do período de 90 e 80 mm respectivamente.

Pode-se verificar que no traço referência e 0,20% a variação ocorrida do momento da moldagem até os 60 minutos foi respectivamente de 62% e 58%, enquanto que os traços com as dosagens mais elevadas de aditivo de 0,35% e 0,50%, resultaram em uma variação de 31% e 33%. Podendo assim constatar que o aditivo retardador de pega não conseguiu manter o abatimento no decorrer do período, mas resultou em uma perda menos acentuada.

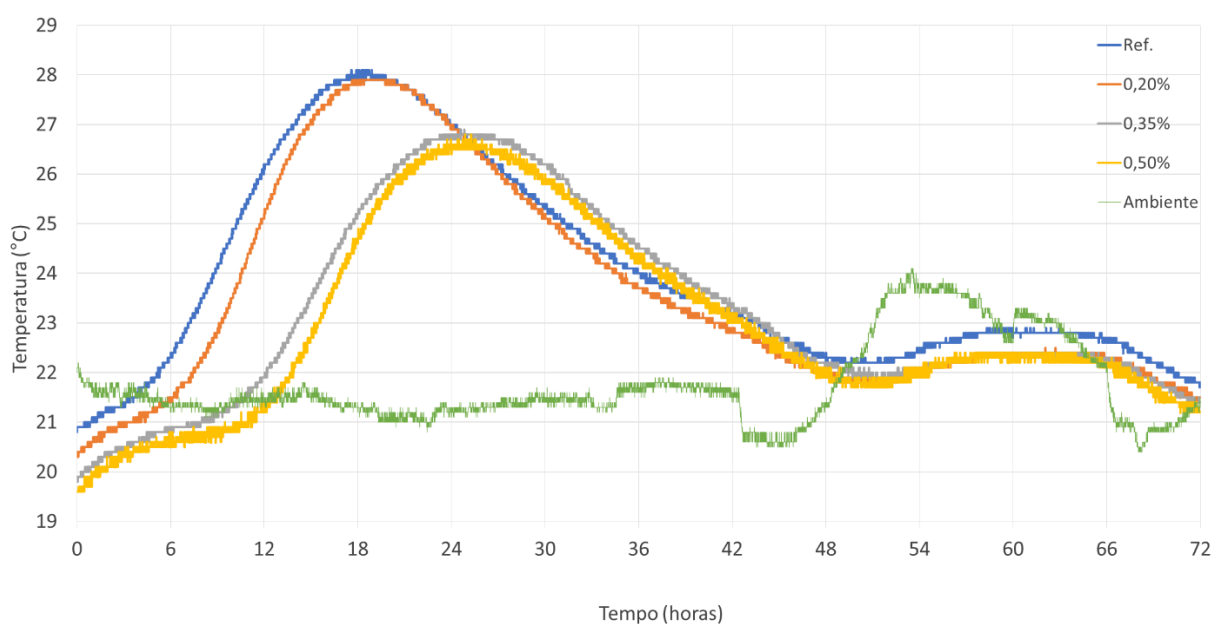
Conforme descrito por Isaia (2011), no item 2.8.1 deste trabalho, concretos com a adição de aditivo retardador de pega apresentam um aumento da taxa de exsudação. Com a realização das concretagens do traço referência e dos traços com aditivo nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50%, verificou-se que não houve um acúmulo de água no topo dos corpos de prova, assim não visualizou-se a ocorrência de exsudação. Acredita-se que a exsudação deva ocorrer com a utilização de percentuais mais elevadas de aditivo, em dosagens acima de 0,50%.

4.2 Curva de liberação do calor de hidratação do concreto

Os resultados do ensaio para determinação da curva de liberação de calor de hidratação do concreto podem ser observados no Gráfico 14, no qual visualiza-se as curvas de liberação de calor de hidratação do concreto para o traço referência e os traços com aditivo nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50%, bem como a temperatura ambiente no decorrer das 72 horas de realização do ensaio.

Ao se correlacionar o Gráfico 14 com o disposto por Mehta e Monteiro (2014) no item 2.3 deste trabalho verifica-se que a ascensão das curvas de hidratação do concreto representa o calor de formação da etringita e a dissolução do C_3S , o qual é responsável pela resistência do concreto nas primeiras idades, a ascensão das curvas inclui ainda o calor de formação do C-S-H e à pega inicial do concreto. O ápice da curva corresponde à pega final do concreto, representando sua solidificação e o início do endurecimento.

Gráfico 14 – Curva de liberação do calor de hidratação do concreto



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com base no Gráfico 14, verifica-se que a curva de liberação do calor de hidratação do traço referência atingiu o ápice da temperatura de 28 °C, após o período de 18 horas. Comparando o traço referência com o traço com adição de 0,20% de aditivo verifica-se que houve um retardo no início da hidratação, mas este atingiu o ápice da temperatura nas mesmas 18 horas. Os traços com as dosagens de 0,35% e 0,50%, apresentaram resultados similares entre si, sendo que o pico de temperatura para ambos os traços ocorreu após 24 horas, representando um retardo de 6 horas para que fosse alcançado o pico de temperatura quando comparado ao traço referência.

Verificando a variação de temperatura ocorrido entre o pico de cada traço e o momento que estes alcançaram o valor da temperatura ambiente, visualiza-se que a

variação ocorrida para o traço referência e o traço com adição de 0,20% de aditivo é de 6,5 °C, enquanto que os traços com 0,35% e 0,50% de aditivo apresentaram uma variação de 5 °C, resultando em uma redução do pico de temperatura.

Após os traços terem alcançado o pico de temperatura, estes iniciaram seu resfriamento, tendendo ao equilíbrio térmico. Independente do pico de temperatura e do momento em que o atingiram, estes alcançaram o equilíbrio térmico no mesmo período (48 horas após o início do ensaio, com uma temperatura de 22 °C), momento no qual acredita-se que o aditivo não influenciou mais a hidratação.

Observa-se que a adição de aditivo retardador de pega aos traços resultou em um retardo no início da hidratação quando comparados ao traço referência, sendo que quanto maior a dosagem de aditivo, maior o retardo na hidratação. Quanto a redução do pico de temperatura observa-se que esta variação ocorreu de forma significativa nas dosagens de 0,35% e 0,50%, enquanto que a dosagem de 0,20% mostrou-se insuficiente para diminuir o pico de temperatura.

4.3 Tempos de pega

Com a realização do ensaio para determinação dos tempos de pega da pasta de cimento, obteve-se os dados da Tabela 13, na qual são apresentados os resultados em horas do início e fim de pega e a variação em percentual do início e fim de pega dos traços aditivados em relação ao traço referência.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de tempos de pega

Traço	Início de pega (h)	Fim de pega (h)	Variação em relação ao traço ref. no início de pega (%)	Variação em relação ao traço ref. no fim de pega (%)
Ref.	3:15	5:30	-	-
0,20%	4:55	8:40	51%	58%
0,35%	7:15	10:50	123%	97%
0,50%	8:45	12:30	169%	127%

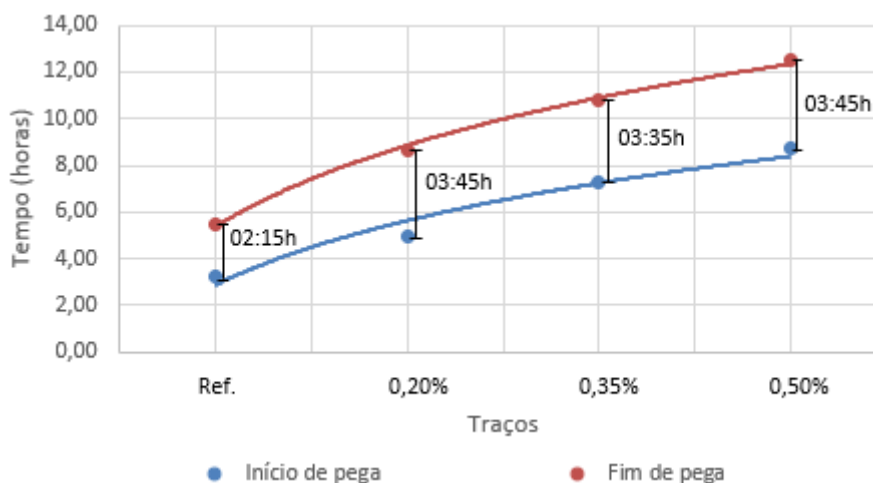
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Por meio dos resultados obtidos na Tabela 13, observa-se que o traço referência iniciou sua pega em 03:15 h, enquanto que os traços 0,20%, 0,35% e 0,50% iniciaram a pega respectivamente em 04:55 h, 07:15 h e 08:45 h, resultando em uma variação no retardo em relação ao traço referência de 01:40 h para o traço 0,20%, 04:00 h para o traço 0,35% e 05:30 h para o traço 0,50%. Analisados os tempos de fim de pega visualiza-se que o traço referência alcançou-o em 05:30 h, enquanto que os traços 0,20%, 0,35% e 0,50% atingiram o fim de pega em respectivamente 08:40 h, 10:50 h e 12:30 h, resultando em uma variação no retardo em relação ao traço referência de 03:10 h para o traço 0,20%, 05:20 h para o traço 0,35% e 07:00 h para o traço 0,50%.

Ao se comparar os resultados obtidos neste estudo com o disposto pela NBR 11768 (ABNT, 2011) a qual determina que o aditivo retardador de pega deva retardar o início de pega em ao menos 1 hora e 30 minutos e o fim de pega em no máximo 6 horas. Verifica-se que o determinado pela norma para o retardo do início de pega foi atingido por todos os percentuais analisados, quanto ao retardo do fim de pega observa-se que a dosagem de 0,50% retardou o fim de pega em 7 horas, ultrapassando o determinado pela norma em 1 hora, sendo que as demais dosagens de 0,20% e 0,35% atingiram o fim de pega dentro do período limite.

O Gráfico 15 apresenta as linhas de tendências para o início e fim de pega, pode-se verificar que a variação entre elas para o traço referência foi de 02:15 h e para os traços com aditivo nos percentuais de 0,20%, 0,35% e 0,50% foi respectivamente de 03:45 h, 03:35 h e 03:45 h. Portanto pode-se verificar que independente da dosagem utilizada a adição de aditivo resultou em uma variação de aproximadamente 01:30 h entre o início e fim de pega dos traços quando comparados ao traço referência.

Gráfico 15 – Linhas de tendência para o início e fim de pega



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Ao se comparar os resultados obtidos por Muniz (2008) no item 2.8.2 deste trabalho o qual também determinou os tempos de pega para a pasta de cimento, verifica-se que em seus ensaios o aditivo retardou de forma significativa o início de pega, já a variação entre o início e fim de pega foi menos acentuada, apresentando valores próximos independente da dosagem. Portanto sendo os resultados obtidos por Muniz (2008) similares a este estudo.

4.4 Resistência à compressão axial

Com a realização do ensaio de resistência à compressão axial foram obtidos os resultados da Tabela 14, na qual são exibidos os valores potenciais de resistência de todos os traços nas idades de 2, 7 e 28 dias, bem como uma relação entre a resistência na idade de ensaio e o valor de resistência obtido aos 28 dias, sendo esta considerada 100%.

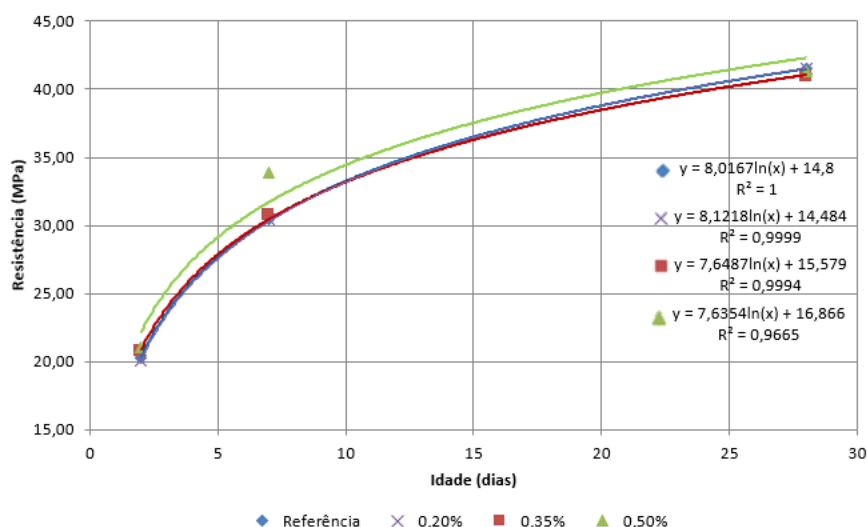
Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

Traço	Resistência (MPa)			Relação entre as resistências (%)		
	f_{c2}	f_{c7}	f_{c28}	f_{c2}/f_{c28}	f_{c7}/f_{c28}	f_{c28}/f_{c28}
Referência	20,32	30,47	41,48	49%	73%	100%
0,20%	20,05	30,41	41,49	48%	73%	100%
0,35%	20,73	30,75	40,93	51%	75%	100%
0,50%	21,02	33,89	41,28	51%	82%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O Gráfico 16 demonstra o ganho de resistência à compressão em função da idade das amostras. As amostras ensaiadas apresentaram em média uma padronização de aumento da resistência ao longo do período, sendo que em média aos 2 dias de cura as amostras possuíam 50% da resistência característica dos 28 dias e aos 7 dias possuíam 76% da resistência. Assim pode-se verificar que a adição de aditivo não influenciou no ganho resistência no decorrer do período.

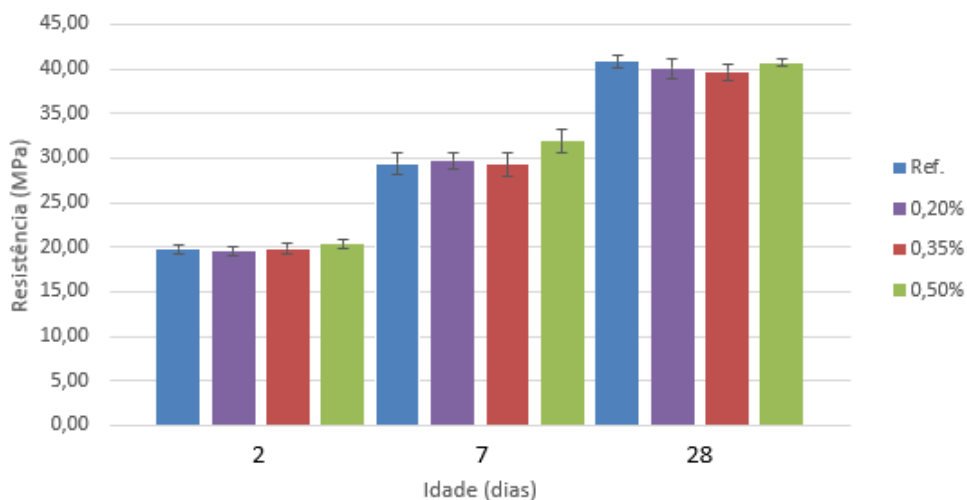
Gráfico 16 – Resistência à compressão em função da idade



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

No Gráfico 17 pode-se visualizar a média dos resultados obtido no ensaio de compressão axial para as idades de 2, 7 e 28 dias de cada traço, bem como seu desvio padrão. Com base neste gráfico, verifica-se que existe uma pequena variação entre os resultados, mas como os limites do desvio padrão dos traços cruzam-se, existem uma tendência destes resultados serem similares.

Gráfico 17 – Resistência à compressão e desvio padrão



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Ao analisar-se os dados de forma bruta, identificou-se uma dificuldade em afirmar se o aditivo interferiu ou não na resistência à compressão dos traços nas diferentes idades. Dessa forma realizou-se uma análise estatística dos resultados obtidos pelo método ANOVA, que consiste de uma análise de variância para uma confiabilidade 95%, a fim de verificar se houve uma variação significativa entre os resultados ao se adicionar aditivo retardador de pega a mistura. Nas Tabelas 15 a 17 pode-se visualizar os resultados obtidos por meio da análise de variância para as idades de 2, 7 e 28 dias de cura.

Tabela 15 – Análise de variância para 2 dias

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,5991	3	0,533	2,0058	0,1538	3,2389
Dentro dos grupos	4,2518	16	0,2657			
Total	5,8509	19				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 16 – Análise de variância para 7 dias

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	22,452	3	7,4839	5,0504	0,01191	3,2389
Dentro dos grupos	23,709	16	1,4818			
Total	46,161	19				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 17 – Análise de variância para 28 dias

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,1049	3	1,3683	2,1196	0,1379	3,2389
Dentro dos grupos	10,329	16	0,6456			
Total	14,434	19				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Interpretando os resultados obtidos na análise de variância, para que haja uma variação significativa entre os resultados, o valor de F deve ser maior que F_{crítico}, dessa forma ao analisar-se os resultados das Tabelas 15 e 17 verifica-se que para a idade de 2 e 28 dias o valor de F é menor que F_{crítico}, assim para estas idades não ocorreu uma variação significativa entre os resultados de resistência com a adição de aditivo. Quanto aos resultados da Tabela 16, verifica-se que para a idade de 7 dias o valor de F é maior que F_{crítico}, dessa forma existe uma variação significativa entre os resultados. Para identificar em qual dosagem de aditivo que houve esta variação realizou-se uma nova análise estatística pelo método de *Tukey*, que analisa todos os valores de resistência entre si, e verificou-se que esta variação ocorreu para a dosagem de 0,50%, no qual houve um aumento da resistência de 8% em relação ao traço referência.

Com os resultados obtidos verifica-se que diferente do disposto por Isaia (2011) no item 2.8.1 deste trabalho no qual descreveu que o aditivo retardador promove uma redução na resistência nas primeiras idades de cura, constatou-se neste estudo que os traços aditivados quando comparados ao traço referência não apresentaram redução na resistência com a adição de aditivo nos percentuais analisados.

A NBR 11768 (ABNT, 2011) determina que traços com adição de aditivo retardador de pega devam atingir aos 28 dias 100% resistência do traço referência, ao analisar os resultados obtidos neste estudo verifica-se que o traço com adição de 0,20% de aditivo atingiu o valor de resistência do traço referência, enquanto que os traços com adição de 0,35% e 0,50% atingiram o percentual de 99% da resistência do traço referência. Sem pormenorizar pode-se afirmar que o determinado pela norma foi atingido.

4.5 Absorção, massa específica e índice de vazios

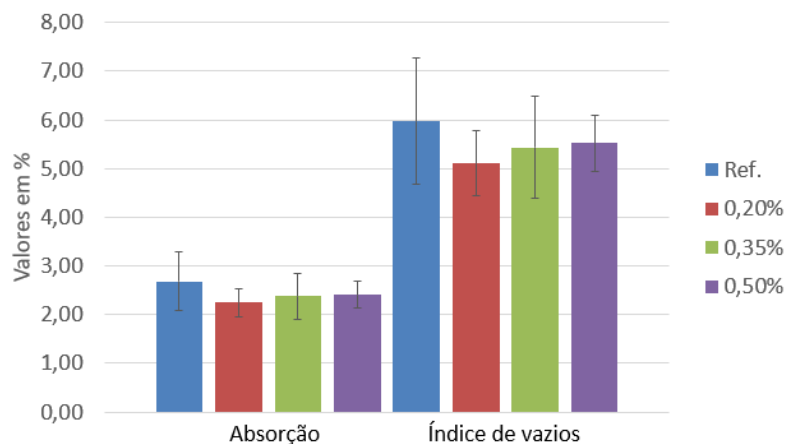
Na Tabela 18 são apresentadas as médias dos resultados obtidos no ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova ensaiados na idade de 28 dias. Já no Gráfico 18 são apresentados as médias para os resultados de absorção e índice de vazios com seus respectivos desvios padrões, no qual pode-se observar que existe uma variação entre estes resultados, mas como os limites dos desvios padrões se cruzam, existe uma tendência destes resultados serem similares.

Tabela 18 – Resultados do ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica

Traço	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)
Ref.	2,68	5,97	2,23
0,20%	2,24	5,11	2,28
0,35%	2,38	5,43	2,28
0,50%	2,41	5,52	2,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

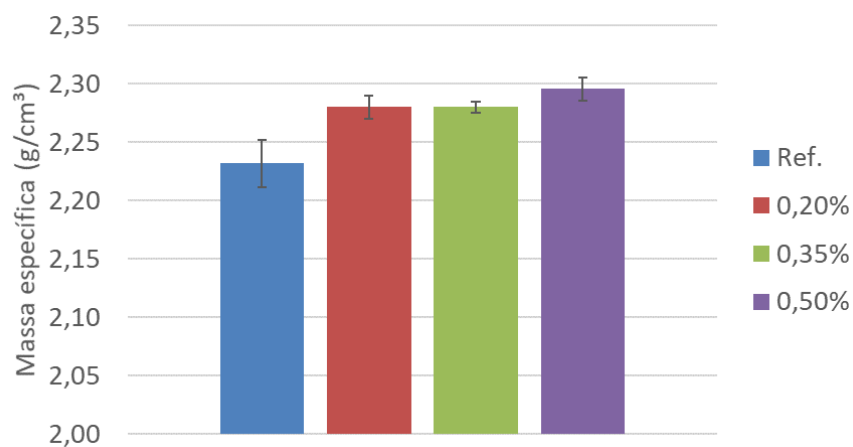
Gráfico 18 – Absorção de água e índice de vazios



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O Gráfico 19 apresenta os resultados obtidos para a massa específica dos traços com seus respectivos desvios padrões, no qual pode-se verificar que existe uma tendência de ocorrer um aumento do valor da massa específica dos traços com a adição de aditivo.

Gráfico 19 – Massa específica dos traços



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para comprovar estatisticamente se houve variação com a adição de aditivo nos resultados, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), onde pode-se visualizar os resultados obtidos para absorção, índice de vazios e massa específica respectivamente nas Tabelas 19 a 21.

Tabela 19 – Análise de variância para absorção

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,3029	3	0,101	0,545	0,6651	4,0662
Dentro dos grupos	1,482	8	0,1852			
Total	1,7849	11				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 20 – Análise de variância para índice de vazios

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,1467	3	0,3822	0,4305	0,7368	4,0662
Dentro dos grupos	7,1027	8	0,8878			
Total	8,2494	11				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 21 – Análise de variância para massa específica

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0071	3	0,0024	12,503	0,0022	4,0662
Dentro dos grupos	0,0015	8	0,0002			
Total	0,0086	11				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

F_{crítico} = Valor de F_{crítico}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com a aplicação da análise estatística verificou-se que quanto a absorção de água e índice de vazios respectivamente Tabelas 19 e 20 o valor de F foi menor que

$F_{\text{crítico}}$, desta forma o aditivo não influenciou significativamente nestes resultados. Segundo Bauer (2008) no item 2.8.2.1 deste trabalho a porosidade é um dos principais fatores que influencia na resistência do concreto, mas conforme identificado neste ensaio, não houve variação significativa no percentual do índice de vazios com a adição de aditivo nos percentuais analisados, desta forma, pode-se fazer uma correlação com os resultados de resistência à compressão obtidos, no qual as resistências também não sofreram variações independente da dosagem de aditivo analisada.

Com base na Tabela 21 onde são visualizados os resultados da análise estatística para a massa específica, verificou-se que o valor de F é maior que $F_{\text{crítico}}$, assim, a adição de aditivo influenciou significativamente nos resultados obtidos. Sendo que para as dosagens de 0,20% e 0,35% o aditivo causou um aumento da massa específica em relação ao traço referência de 2,24%, já para o traço com 0,50% de aditivo o aumento foi de 3,14%. Acredita-se que esta variação ocorreu em função da variação do percentual do índice de vazios nos traços aditivados que pode-se visualizar na Tabela 18, mesmo esta variação não sendo significativa na análise de variância, na massa específica causou um aumento do valor nos traços aditivados.

4.6 Absorção de água por capilaridade

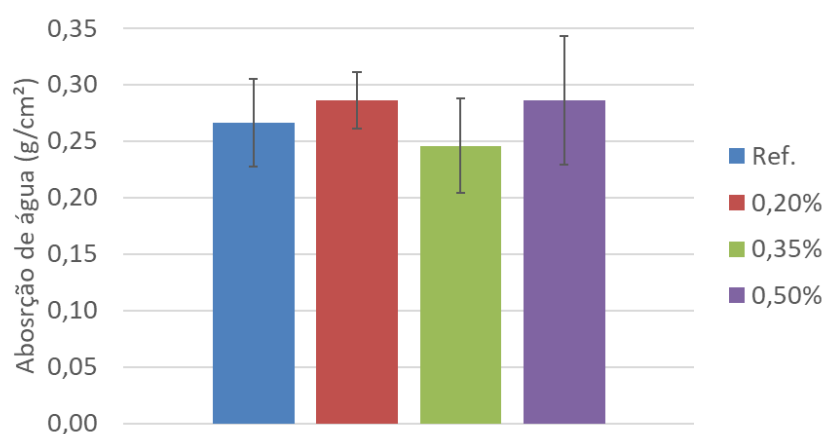
Na Tabela 22 são apresentadas as médias dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade em 3, 6, 24, 48 e 72 horas de realização do ensaio. Já no Gráfico 20 são apresentadas as médias dos valores de absorção com seus respectivos desvios padrões, para a pesagem de 72 horas, a qual representa a absorção total do período de realização do ensaio, no qual pode-se observar que existe uma variação entre estes resultados, mas como os limites dos desvios padrões se cruzam, existe uma tendência destes resultados serem similares.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

Traço	Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)				
	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Ref.	0,065	0,087	0,186	0,230	0,266
0,20%	0,062	0,092	0,217	0,244	0,286
0,35%	0,069	0,089	0,186	0,216	0,246
0,50%	0,063	0,091	0,197	0,245	0,286

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Gráfico 20 – Resultados do ensaio de absorção de água em 72 horas



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para comprovar estatisticamente que a adição de aditivo não interferiu nos resultados de absorção realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para os resultados da pesagem de 72 horas, no qual o resultado pode ser observado na Tabela 23. Com base no resultado da análise estatística no qual o valor de F é menor que $F_{\text{crítico}}$, pode-se comprovar que o aditivo não interferiu nos resultados de absorção de água por capilaridade nas diferentes dosagens analisadas.

Tabela 23 – Análise de variância para absorção por capilaridade

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0033	3	0,0011	0,6229	0,6199	4,0662
Dentro dos grupos	0,0143	8	0,0018			
Total	0,0177	11				

Onde:

SQ = Soma dos quadrados

gl = Graus de liberdade

MQ = Médias quadradas

F = valor de F

Valor-P = Valor de prova

$F_{crítico}$ = Valor de $F_{crítico}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Após as 72 horas de realização do ensaio, os corpos de prova foram rompidos por meio de compressão diametral para verificar a ascensão capilar interna máxima. Na Figura 12 são apresentados os corpos de prova após o rompimento, nos quais não foi possível visualizar a ascensão capilar em nenhum dos traços, impossibilitando a realização das medições.

Figura 12 – CP's rompidos por compressão diametral



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5 CONCLUSÃO

Com base na análise dos resultados obtidos no programa experimental elaborado neste estudo, no qual avaliou-se a influência do aditivo retardador de pega no estado fresco e endurecido do concreto para diferentes dosagens de aditivo e com a manutenção da relação a/c fixa, são apresentados neste capítulo as conclusões obtidas e sugestões para futuros trabalhos acerca deste tema.

Com os resultados obtidos no ensaio de perda de abatimento pode-se perceber que o traço referência apresentou uma variação no abatimento no decorrer dos 60 minutos de 62%, já os traços com 0,35% e 0,50% de aditivo resultaram em uma variação média de 30% no decorrer deste período, podendo-se portanto concluir que o aditivo retardador de pega não consegue manter o abatimento no decorrer do período, mas resulta em uma perda menos acentuada.

Quanto ao ensaio para determinação da curva de liberação do calor de hidratação do concreto, pode-se concluir que em todas as dosagens analisadas houve um retardo no início da hidratação do concreto, sendo este proporcional a dosagem de aditivo. Quanto aos picos de temperatura alcançados, percebe-se que a dosagem de 0,20% é insuficiente para causar uma diminuição da temperatura, já as dosagens de 0,35% e 0,50% resultaram em uma diminuição do pico de temperatura em cerca de 5%.

Com os resultados obtidos no ensaio para determinação dos tempos de pega da pasta de cimento pode-se constatar que o aditivo retardador de pega resultou em um retardo nos tempos de pega em todas as dosagens, entretanto este mostrou-se mais eficiente em retardar o início de pega, sendo que entre o início e fim de pega a

variação registrada permaneceu constante entre todas as dosagens. Acredita-se que no momento em que a pasta atingiu o início de pega o aditivo não deva mais influenciar significativamente nos tempos, resultando nessa variação constante. A dosagem de 0,50% de aditivo não atendeu aos requisitos da NBR 11768 (ABNT, 2011), para o tempo de fim de pega, retardando demasiadamente a pega da pasta. Portanto pode-se verificar que quanto maior a dosagem de aditivo maior o retardo na pega da pasta de cimento.

Quanto ao ensaio de compressão axial pode-se constatar por meio da análise estatística que a adição de aditivo retardador de pega não influenciou nos resultados dos ensaios nas idades de 2 e 28 dias, quanto aos resultados do ensaio na idade de 7 dias, para o traço com adição de 0,50% de aditivo observou-se uma variação significativa, no qual houve aumento de resistência em relação ao traço referência de 8%. Entretanto de forma geral pode-se concluir que o aditivo retardador de pega não influenciou nos resultados de resistência para as diferentes dosagens de aditivo e idades de cura analisadas.

Por meio da análise estatística nos ensaios de absorção, absorção de água por capilaridade e índice de vazios, verificou-se que o aditivo não influenciou nos resultados, já no valor da massa específica dos traços aditivados verificou-se um aumento em média de 3% quando comparados ao traço referência.

Baseado nestes resultados, verificou-se que o aditivo retardador de pega nos percentuais utilizados não causou prejuízos as propriedades analisadas, tanto no estado fresco quanto endurecido do concreto. Dentre os percentuais de aditivos utilizados constatou-se que a dosagem de 0,35% apresentou os melhores resultados, atendendo aos requisitos das normas técnicas sem causar prejuízos ao concreto, demonstrando-se eficiente em retardar a cura sem interferir na resistência, além de apresentar resultados similares aos da dosagem de aditivo mais elevada.

Como sugestão para futuros trabalho, recomenda-se análises similares com outros tipos de cimento e podendo também ser determinado o ganho de resistência no decorrer de cada dia nos sete dias iniciais de cura do concreto, definido assim de melhor forma a influência do aditivo nas primeiras idades de cura do concreto. Recomenda-se também a análise da influência do aditivo acelerador de pega ao

concreto, já que este possui a função inversas do aditivo utilizado neste estudo, verificando assim se este provoca uma maior liberação de calor durante a fase de hidratação e com isto possam ocorrer variações nos resultados de resistência do concreto.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10342**: Concreto - Perda de abatimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 16606**: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 16607**: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CENTURIONE, S. L. **A mineralização do clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos**. 1999. 170f. Tese (Doutorado em Minerologia e Petrologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FABRICANTE ITAMBÉ. **Cimento Itambé**. 2018. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-v-ari/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FABRICANTE RODOQUÍMICA. **Retardador de pega**. 2018. Disponível em: <<http://www.rodquimica.com.br/construcao-civil>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256F. Tese (Doutorado em Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**: Tópicos aplicados. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008.

GASPARIM, J. C. **Concreto projetado elaborado com cimentos especiais**: Análise segundo parâmetros de durabilidade. 2007. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GOBBO, L. A. **Os compostos do clínquer Portland: sua caracterização por difração de raios-X e quantificação por refinamento de Rietveld**. 2003. 119f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ISAIA, G.C. **Concreto ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos**: Estudo de caso. 2005. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, J. M. P. **Concreto**: Microestrutura, propriedades e materiais. 4. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, B. C. et al. Influência do ácido cítrico como retardador de pega em pastas e argamassas de cimento Portland CPV ARI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22, 6 a 10 nov. 2016, Natal. **Anais...** Natal: UENF, 2016. p. 1803-1813.

MUNIZ, M. V. S. **A influência dos aditivos aceleradores e retardadores de pega sobre a pasta de cimento Portland**. 2008. 79f. Monografia (Graduação Engenharia Civil) – Universidade de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PETRUCCI, E.G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland - Estudo em pasta**. 2008. 188f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RIGHI, D. P. **Caracterização do comportamento de compósitos cimentícios de elevada capacidade de deformação com a utilização de fibras de polipropileno e cinza de casca de arroz**. 2015. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09